

**Asistencia técnica para la zonificación de susceptibilidad por Movimientos  
en Masa Tipo Flujo en la Vertiente Oriental de la Cuenca del Río Cubugón,  
en el municipio de Cubará, Boyacá, en el marco del convenio No. 034  
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA-SERVICIO GEOLÓGICO  
COLOMBIANO NI 927**

Un Trabajo de Grado Presentado Para Obtener El Título De  
Ingeniero Ambiental  
Universidad de Pamplona, Pamplona

Angélica Adalgiza Pérez Sepúlveda  
Junio 2020.

## Abstract

Este trabajo hace parte del convenio especial 034 entre la Universidad de Pamplona y el Servicio Geológico Colombiano (SGC), cuyo objetivo es realizar la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, para los municipios de Toledo, Cubará y Chiscas, a escala 1:25000. Dentro de dicho convenio, este trabajo apoyó la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tipo flujo, respecto a la vertiente oriental de la cuenca del Río Cubugon, ubicado en el municipio de Cubará, Boyacá. Para ello se realizó una recopilación de información secundaria acerca de los movimientos en masa tipo flujo de la zona, georreferenciación de fotografías aéreas, morfometría de subcuencas hidrográficas y análisis de torrencialidad. Partiendo de la geología y el inventario geomorfológico, realizados por los profesionales que hacen parte del convenio, se realizó la zonificación de la susceptibilidad, con base en la caracterización morfométrica de las subcuencas hidrográficas, analizando los parámetros de torrencialidad, como complemento a la metodología propuesta por el SGC.

**Palabras claves:** Movimientos en masa tipo flujo, índices morfométricos, SGC, parámetros de torrencialidad, zonificación, susceptibilidad

**Tabla de Contenidos**

Capítulo 1 Introducción e información general .....	12
Introducción .....	12
1.1    Objetivos .....	13
1.1.1 Objetivo General .....	13
1.1.2 Objetivos específicos .....	13
1.2    Justificación .....	14
1.3    Localización .....	17
Capítulo 2 Marco teórico .....	20
2.1    Definiciones .....	20
2.2    Movimientos en Masa Tipo Flujo .....	23
2.2.1 Flujos secos .....	24
2.2.2 Flujo de detritos (Debris flows) (Avenida Torrencial) .....	24
2.2.3 Crecida de detritos (Debris floods) .....	25
2.2.4 Flujo de lodo (Mud flow) .....	26
2.2.5 Flujo de tierra (Earth flow) .....	26

	iv
2.2.6 Deslizamiento por flujo (deslizamiento por licuación) (Flow slide).....	27
2.2.7 Avalancha de detritos (debris avalanches) .....	27
2.2.8 Avalancha de rocas (rock avalanches) .....	28
2.3 Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tipo flujo.....	29
2.3.1 Inventario de Procesos Morfodinámicos.....	31
2.3.2 Factores condicionantes .....	33
2.3.3 Susceptibilidad por Movimientos en Masa Tipo Flujo .....	33
2.4 Caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas .....	38
2.4.1 Área (A) .....	38
2.4.2 Perímetro (P) .....	38
2.4.3 Longitud de la cuenca (L) .....	39
2.4.4 Longitud del cauce principal (Lc).....	39
2.4.5 Altura máxima de la cuenca.....	39
2.4.6 Altura máxima del cauce principal .....	39
2.4.7 Ancho promedio (B) .....	39
2.4.8 Frecuencia de Orden de drenaje (Fs) .....	40
2.4.9 Constante de Compacidad (Kc) .....	40

2.4.10 Factor de forma (Kf) .....	41
2.4.11 Índice de alargamiento (Ia) .....	42
2.4.12 Índice de asimetría (Ias) .....	42
2.4.13 Densidad de drenaje .....	43
2.4.15 Radio de bifurcación – Relación de bifurcación (Rb).....	44
2.4.17 Relación de textura de drenaje .....	46
2.4.18 Pendiente media del cauce (Sc).....	47
2.4.19 Curva hipsométrica .....	47
2.4.20 Coeficiente de torrencialidad (Ct).....	48
2.4.21 Índice de Melton (IM).....	49
2.4.22 Orden de drenaje .....	49
2.4.23 Tiempo de concentración (Tc) .....	50
2.5 Revisión bibliográfica de parámetros morfométricos de torrencialidad .....	52
2.6 Análisis de precipitación: Isoyetas .....	64
Capítulo 3. Materiales y Métodos .....	65
3.1 Insumos Cartográficos .....	65
3.1.1 Sistema de Referencia .....	65

	vi
3.1.2 Imágenes Satelitales Multiespectrales.....	66
3.1.3 Modelo Digital de Elevación .....	67
3.1.4 Fotografías Aéreas .....	67
3.1.6 Datos precipitaciones en zona de estudio.....	70
3.1.5 Cartografía básica digital .....	70
3.2 Validación de la cartografía base .....	73
3.2.1 Identificación y corrección de errores de continuidad y ausencia de información .	73
3.3 Apoyo en la elaboración del inventario de procesos morfodinámicos. ....	74
3.4 Caracterización morfométrica de las subcuencas hidrográficas de la vertiente oriental de la cuenca del río Cubugón.....	75
3.5 Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa tipo flujo.....	75
Capítulo 4. Resultados .....	77
4.1 Validación de la cartografía base .....	77
4.2 Inventario de procesos morfodinámicos .....	77
4.3 Caracterización morfométrica de las subcuencas del río Cubugón .....	78
4.4 Zonificación de Susceptibilidad por Movimientos en Masa Tipo Flujo.....	90
Capítulo 5. Análisis de Resultados.....	99

5.1 Análisis inventario geomorfológico .....	vii 99
5.2 Análisis de parámetros de torrencialidad en las subcuencas .....	101
5.2.1 Coeficiente de Torrencialidad .....	101
5.2.2 Índice de melton .....	102
5.2.3 Relación de bifurcación .....	104
5.2.4 Relación de Elongación (Re) y Constante de Compacidad (Kc) .....	105
5.4 Análisis resultados de zonificación de susceptibilidad .....	106
Capítulo 6. Conclusiones .....	107
Referencias .....	108
Apéndice A1 .....	121

**Lista de tablas**

Tabla 1. Unidades/Subunidades indicativas de procesos tipo flujo/avenidas torrenciales .....	35
Tabla 2. Categorías de susceptibilidad por movimientos en masa tipo flujo.....	35
Tabla 3. Geoformas indicativas de zonas de aporte de sedimentos en avenidas torrenciales. ....	36
Tabla 4. Geoformas indicativas asociadas a eventos fluviotorrenciales .....	37
Tabla 5. Clasificación índice de Compacidad de Gravelius .....	41
Tabla 6. Clasificación del factor de forma. Fuente: (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2018).....	41
Tabla 7. Clasificación del índice de alargamiento .....	42
Tabla 8. Clasificación índice de asimetría .....	43
Tabla 9. Clases de densidad de drenajes .....	44
Tabla 10. Revisión bibliográfica de parámetros morfométricos de torrencialidad.....	53
Tabla 11. Parámetros para el sistema de referencia .....	65
Tabla 12. Imágenes satelitales multiespectrales .....	66
Tabla 13. Modelos Digitales de Elevación utilizados.....	67
Tabla 14. Fotografías aéreas utilizadas en el convenio.....	67
Tabla 15. Estaciones meteorológicas utilizadas en el convenio .....	70



Tabla 16. Índice de planchas.....	ix 71
Tabla 17. Planchas IGAC en zona de estudio que presentan errores.....	77
Tabla 18. Recopilación movimientos en masa en zona de estudio.....	78
Tabla 19. Subcuencas hidrográficas de la vertiente oriental cuenca Cubugón.....	79
Tabla 20. Parámetros morfométricos cuenca Cubugón vertiente oriental y subcuencas.....	83
Tabla 21. Significancia de parámetros.....	94
Tabla 22. Análisis multicriterio cuenca Cubugón, vertiente oriental, Cubará.....	96
Tabla 24. Tipos de Flujos presentados en las subcuencas .....	100
Tabla 25. Coeficientes de torrencialidad en las subcuencas .....	101
Tabla 26. Índice de melton para las subcuencas .....	103
Tabla 27. Relación de Bifurcación de las subcuencas .....	104
Tabla 28. Resultados Relación de elongación (Re) y Constante de compacidad (Kc) en las subcuencas .....	105

**Lista de figuras**

Figura 1. Mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa del departamento de Boyacá. ....	16
Figura 2. Ubicación del municipio de Cubará en el departamento de Boyacá .....	18
Figura 3. Cuenca vertiente oriental del río Cubugón en Cubará .....	19
Figura 4. Esquema flujo canalizado y no canalizado .....	25
Figura 5. Marco de referencia para el análisis de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25000 .....	30
Figura 6. Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del río .....	48
Figura 7. Configuración de Strahler.....	50
Figura 8. Planchas IGAC en zona de estudio a nivel de proyecto del convenio .....	72
Figura 9. Delimitación de subcuencas de la vertiente oriental de la cuenca del río Cubugón.....	80
Figura 10. Red de drenaje y DEM Cuenca Vertiente Oriental Cubugón .....	81
Figura 11. Curvas hipsométricas Cuenca Cubugón y Subcuencas 01-05 .....	85
Figura 12. Curvas hipsométricas subcuencas 06-11 .....	86
Figura 13. Curvas hipsométricas subcuencas 12, 16 y 18 .....	87
Figura 14. Isoyetas en la vertiente oriental de la cuenca del río Cubugón .....	89

Figura 15. Zonificación Susceptibilidad Metodología Guía SGC .....	xi 91
Figura 16. Rasgos GMF, Cuenca Cubugón .....	92
Figura 17. Geoformas indicativas de eventos torrenciales, Cuenca Cubugón, vertiente oriental. .....	93
Figura 18. Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa tipo flujo, en la vertiente oriental de la cuenca Cubugón, Cubará, empleando el metodo de multicriterio .....	98

## Capítulo 1 Introducción e información general

### Introducción

Un aspecto importante, dentro de la planeación de cualquier entidad, es la gestión del riesgo. Cuando se cuenta con buenos instrumentos de planeación de la gestión del riesgo, los posibles daños ocasionados disminuyen considerablemente. A nivel municipal, contar con un plan de gestión de riesgos eficiente, es de vital importancia para garantizar el bienestar de los ciudadanos, incluyendo no sólo su integridad física, sino también sus bienes materiales. Por ello, es indispensable contar con metodologías e insumos prácticos para poder afrontar cualquier tipo de riesgo.

Colombia, es un país que goza de unas condiciones climáticas y geográficas maravillosas, que lo hacen dueño de una gran biodiversidad, pero también lo hacen vulnerable a dichas condiciones ambientales. Dentro de los muchos riesgos que afronta el país, se encuentran los movimientos en masa, que son todo tipo de movimientos de suelo o roca, o ambos por efecto de la gravedad. (Como se sita en Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2018)

Los principales tipos de movimientos en masa son las caídas y volcamientos, los flujos y reptaciones y los deslizamientos. Dentro de los movimientos en masa tipo flujo, aquellos denominados como avenidas torrenciales, guardan una estrecha relación con las características hidrológicas de la zona de ocurrencia. Por ello, en este trabajo, se integra lo propuesto por la guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25000, y los parámetros morfométricos de torrencialidad de cuencas

hidrográficas, con el fin de complementar la metodología propuesta y obtener mejores resultados.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo General**

Realizar asistencia técnica para la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tipo flujo en la vertiente oriental de la cuenca del Río Cubugón, en el Municipio de Cubará, Boyacá en el marco del convenio N° 034, Universidad de Pamplona- Servicio Geológico Colombiano NI 927

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Validar la cartografía base suministrada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi a escala 1:25000 mediante imágenes satelitales y el modelo digital de elevación para su previa utilización.
- Apoyar la elaboración del inventario de procesos morfodinámicos a partir de la recolección de información primarias y secundarias.
- Caracterizar morfométricamente la vertiente oriental de la Cuenca del Río Cubugón y sus subcuencas hidrográficas, aplicando los parámetros morfométricos de torrencialidad.
- Zonificar la susceptibilidad por movimientos en masa tipo flujo de la vertiente oriental en la cuenca del Río Cubugón aplicando la guía metodológica para movimientos en masa a escala 1:25.000 del servicio geológico colombiano

## 1.2 Justificación

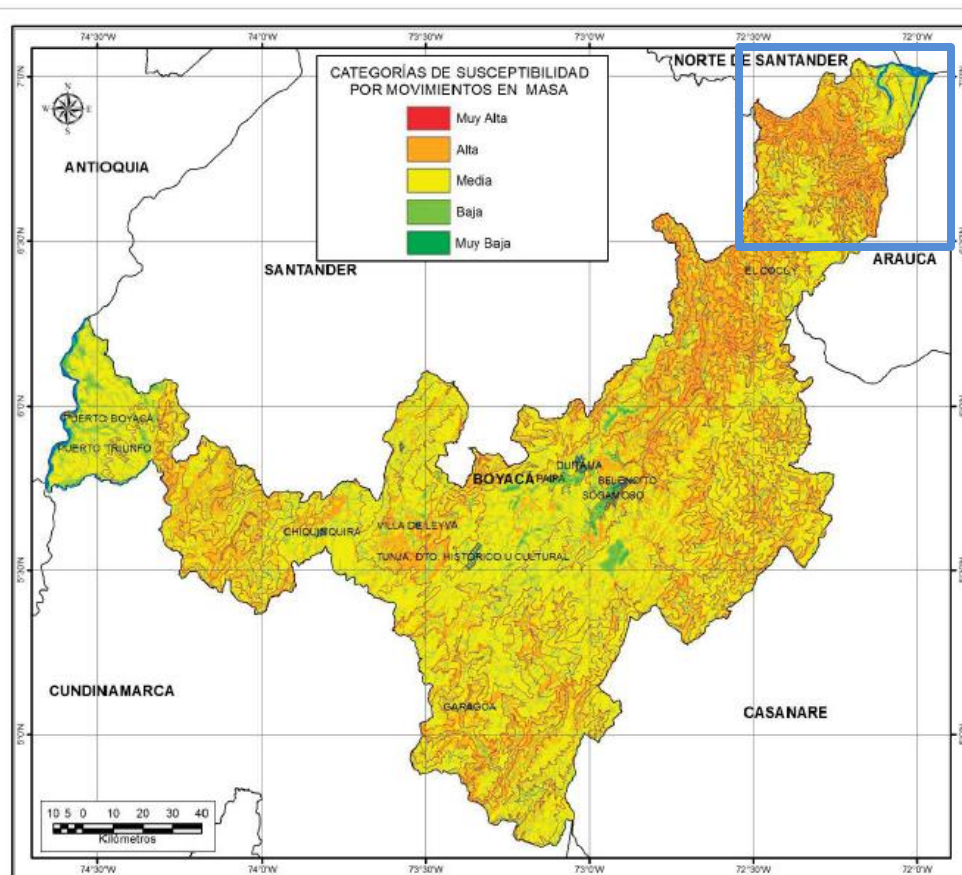
El territorio colombiano está caracterizado por la presencia de cadenas montañosas jóvenes, que favorecen la ocurrencia de sismos, erupciones volcánicas y movimientos en masa, estos últimos potenciados por lluvias intensas, pendientes fuertes, materiales fracturados y meteorizados y en muchas ocasiones por el uso inadecuado del territorio. (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

Los movimientos en masa, se presentan principalmente en la región Andina –en donde se encuentran las principales ciudades y se asienta más del 70 % de la población colombiana–, generan pérdida de vidas humanas, daño a las propiedades y grave afectación a la infraestructura, de tal manera que generan un impacto negativo en el desarrollo del país. (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

Los departamentos más propensos al fenómeno de movimientos en masa son Antioquia, Tolima, Valle del Cauca, Caldas, Boyacá y Nariño. (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2018)

Debido a dicha situación, se han realizado diversos estudios sobre los movimientos en masa en Colombia. El primero fue realizado en el 2001, cuyo producto fue un mapa de zonificación de amenaza a nivel nacional a escala 1:500000. En el 2009 se actualizó la información y se realizaron mapas de susceptibilidad y amenaza relativa a escala 1:500000. En el 2017 se realizó un nuevo mapa a nivel nacional de amenaza por movimientos en masa a escala 1:100000. (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2018)

Dentro de los productos cartográficos realizados a escala 1:100000 hay mapas de amenaza y susceptibilidad a los movimientos en masa a nivel de departamentos. (Servicio Geológico Colombiano, 2017) En la figura 1 se muestra el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en el departamento de Boyacá.



*Figura 1. Mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa del departamento de Boyacá. Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2017)*

En la figura 1, se puede observar, cómo el área del municipio de Cubará (señalado en el recuadro azul), está zonificada como de alta susceptibilidad a movimientos en masa. Ello se ha visto reflejado en los movimientos en masa que se han presentado sobre la vía Nacional La Soberanía desde la Vereda Mundo Nuevo hasta la vereda Cubugón, en el sitio denominado las canoas, el Paso del Burro, Padilla, También se ha presentado socavación de la margen derecha del río Cobaría, en los sectores de la quebrada La Clarita y del matadero municipal, amenazando con destruir la zona residencial de los



barrios Pablo VI, Jardín y El Progreso; y a su vez en la vereda Puerto Nuevo amenaza con destruir la vía de comunicación entre la vereda y el casco urbano del municipio. (ESE Hospital Especial de Cubará, 2016)

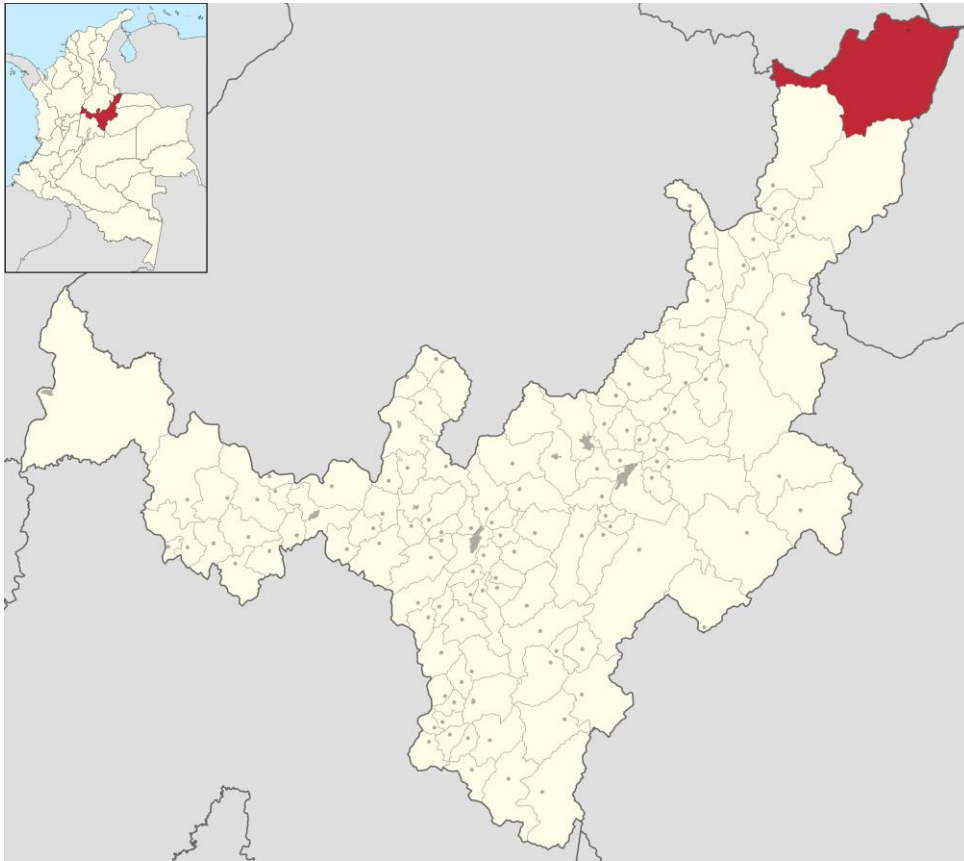
Conociendo la afectación que el municipio de Cubará ha sufrido por los movimientos en masa, se hace necesario desarrollar una zonificación de amenaza a movimientos en masa a escala 1:25000, que sirva como base para la planeación y gestión del riesgo a nivel municipal. Por ello, este trabajo hace parte del proyecto de zonificación de amenaza por movimientos en masa de los municipios de Toledo (N de S), Cubará y Chiscas (Boyacá), apoyando en la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tipo flujo, en la vertiente oriental de la cuenca del río Cubugón, en el municipio de Cubará

### **1.3 Localización**

El municipio de Cubará se encuentra localizado al nororiente del departamento de Boyacá (figura 2), en la frontera natural del río Arauca, límite con la República de Venezuela, sobre las estribaciones de la cordillera oriental en las siguientes coordenadas:

- Latitud norte 070 02' 28"
- Longitud oeste 720 03' 39"

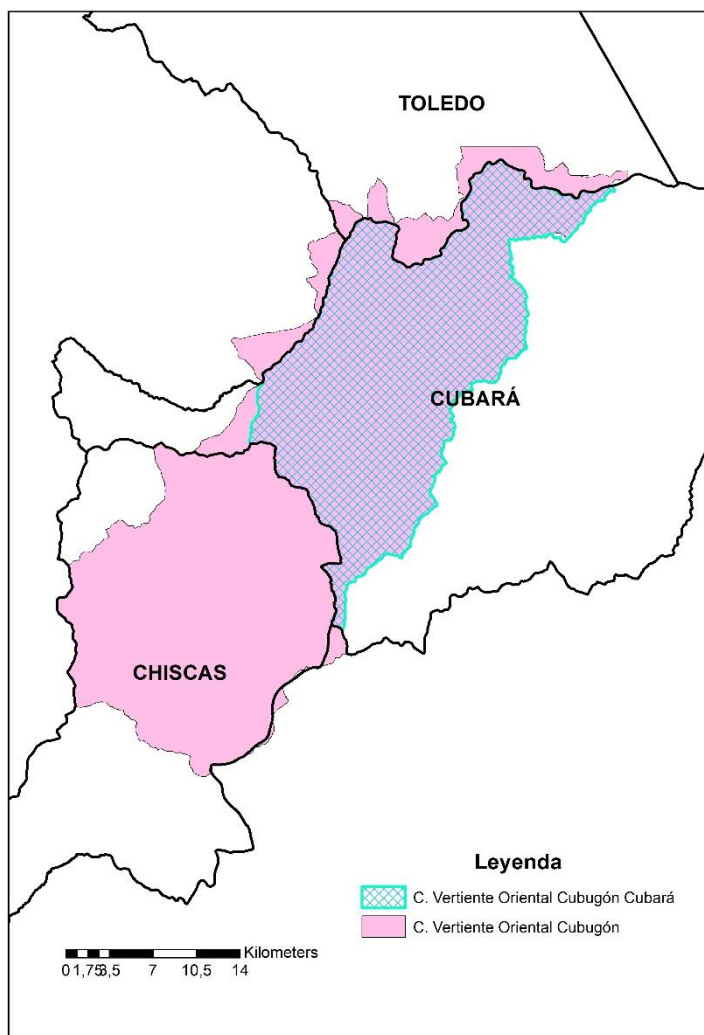
Tiene una superficie de 1.650 Km<sup>2</sup>, su temperatura promedio anual es de 260°C, con precipitaciones medias anuales de 2920 mm y a una altura de 420 m.s.n.m. (Alcaldía de Cubará, 2001)



*Figura 2. Ubicación del municipio de Cubará en el departamento de Boyacá Fuente: (Wikipedia, 2015)*

El sistema hídrico que surca al municipio de Cubará, está integrado a la vertiente de la Orinoquia, por ser la región donde nace el subsistema del río Arauca, el cual hace parte de la cuenca del Orinoco, la cual está constituida por la subcuenca de lo río Arauca, que a su vez está conformada por las microcuencas de los ríos Cubugón, Royota, Cobaría y Bojabá. (Alcaldía de Cubará, 2001). El río Cubugón nace en el área del resguardo indígena UWA y sirve como límite departamental entre Norte de Santander y Boyacá, según el IGAC. Es un río de aguas cristalinas de color aguamarina, con formaciones

rocosas metamórficas. Su recorrido bordea el municipio desde la desembocadura donde hace parte de la formación el río Arauca. (Alcaldía de Cubará, 2001). En la figura 3 se muestra la ubicación de la vertiente oriental de la cuenca del río Cubugón respecto al municipio de Cubará.



*Figura 3. Cuenca vertiente oriental del río Cubugón en Cubará Fuente: Autor*

## Capítulo 2 Marco teórico

### 2.1 Definiciones

**Amenaza:** evento físico o condición peligrosa de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, capaz de causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales. La caracterización y descripción de la amenaza por movimientos en masa debe incluir su ubicación, clasificación, geometría, magnitud o intensidad, y se evalúa en términos de frecuencia de ocurrencia. La magnitud se suele expresar cuantitativamente como una media del tamaño del evento (volumen o área) y la intensidad (relacionada con el potencial destructivo del evento) con parámetros cuantitativos o cualitativos tales como velocidad máxima del evento, desplazamiento total, desplazamiento diferencial, profundidad, descarga pico por unidad de ancho o energía cinética por unidad de área. (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

**Avenida Torrencial:** las avenidas torrenciales son procesos tipo flujo que incluyen eventos generados sobre ríos y quebradas de alta montaña y en cuencas con características geomorfológicas que favorecen una alta acumulación de sedimentos sobre el cauce, cambios drásticos en el gradiente del afluente, alta densidad de drenaje y eventos de precipitación. Sus daños a la población y a la infraestructura son de magnitud mayor, al igual que el tiempo necesario para recuperación de las cuencas después de un

desastre ocasionado por este fenómeno. (Como se cita en Servicio Geológico Colombiano, 2017)

**Erosión:** la erosión es un proceso de pérdida continua y selectiva de materiales ocasionada por agentes naturales o antrópicos. Cuando la erosión se produce sin intervención antrópica, se denomina erosión geológica o natural, debido a la acción de agentes como el agua (hídrica), viento (eólica), deshielo (glaciar), entre otros, sobre los materiales de las capas superficiales roca o suelo; de lo contrario se considera erosión antrópica o acelerada, en la que el hombre altera los procesos naturales principalmente con prácticas como el laboreo en el sentido de la pendiente, cultivos, compactación del terreno, deforestación, quemas, minería, entre otras actividades. En el caso de zonificación de amenazas por movimientos en masa, es importante caracterizar la erosión superficial que puede dar origen a movimientos en masa, principalmente la relacionada con el agente agua en forma de erosión pluvial o hídrica y erosión fluvial; la primera se puede clasificar en surcos, cárcavas y hondonadas o tierras malas y la segunda, en socavación lateral. (Como se cita en Servicio Geológico Colombiano, 2017)

**Intensidad de un movimiento en masa:** conjunto de datos espacialmente distribuidos relacionados con el potencial destructivo de un movimiento en masa. Estos datos pueden ser descritos en términos cuantitativos o cualitativos de atributos como velocidad, desplazamiento total, desplazamiento diferencial, profundidad de falla, descarga pico por unidad de ancho, energía cinética por unidad de área, entre otros. (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

**Magnitud de un movimiento en masa:** es una medida del tamaño del movimiento en masa. Puede ser descrita cuantitativamente por su volumen o indirectamente por su área. Los descriptores usados se pueden referir a varias partes del movimiento en masa como su escarpe o zona de depósito. (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

**Movimiento en masa:** equivale a definiciones como procesos de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa o fallas de taludes y laderas. Movimientos en masa, incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad. (Como se cita en Servicio Geológico Colombiano, 2017)

**Susceptibilidad a movimientos en masa:** medida cualitativa o cuantitativa de la magnitud y distribución espacial de movimientos en masa existentes o que potencialmente pueden ocurrir en un área. Su determinación se basa solamente en el análisis de factores intrínsecos o condicionantes y puede también incluir una descripción de la velocidad e intensidad de los movimientos en masa existentes o potenciales. Los mapas de susceptibilidad contienen información sobre el tipo de deslizamiento que puede ocurrir y sobre su posibilidad de ocurrencia espacial en términos de identificación de las áreas de iniciación más probables y la posibilidad de extensión (retrogresión o progresión — distancias de viaje). (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

**Zonificación:** la división del territorio en áreas o dominios homogéneos y su categoría de acuerdo al nivel de susceptibilidad, amenaza o riesgo actual o potencial. (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

## **2.2 Movimientos en Masa Tipo Flujo**

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída. (Como se cita en Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

Hungr et al. (2001), clasifican los flujos de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otras características que los hacen distinguibles; así mismo, aportan definiciones que enfatizan aspectos de uso práctico útiles para el estudio de amenazas. (Como se cita en Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

Es importante hacer la distinción entre los diferentes tipos de flujos cuando se analiza la amenaza a que está sometida un área ya que, el potencial destructivo es característico de cada tipo. Por ejemplo, es importante establecer la diferencia entre flujo de detritos y avalancha de detritos. En el caso del flujo de detritos (movimiento en masa canalizado) el estudio de amenaza se deberá concentrar en una trayectoria pre-establecida o canal y en el área de depositación o abanico, áreas potencialmente afectadas. En cambio, una avalancha de detritos puede desplazarse sobre áreas abiertas en laderas de alta pendiente.

Por supuesto las avalanchas de detritos con frecuencia encuentran un canal pre-existente y se convierten en flujos de detritos. Otra distinción importante de uso práctico para el estudio de amenazas es aquella entre flujos de detritos y crecidas de detritos (inundaciones o avenidas de detritos). Las crecidas (debris flood) presentan un potencial destructivo relativamente bajo con respecto a los flujos de detritos (debris flow) (Como se cita en Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

Los movimientos en masa tipo flujo se pueden clasificar en:

### **2.2.1 Flujos secos**

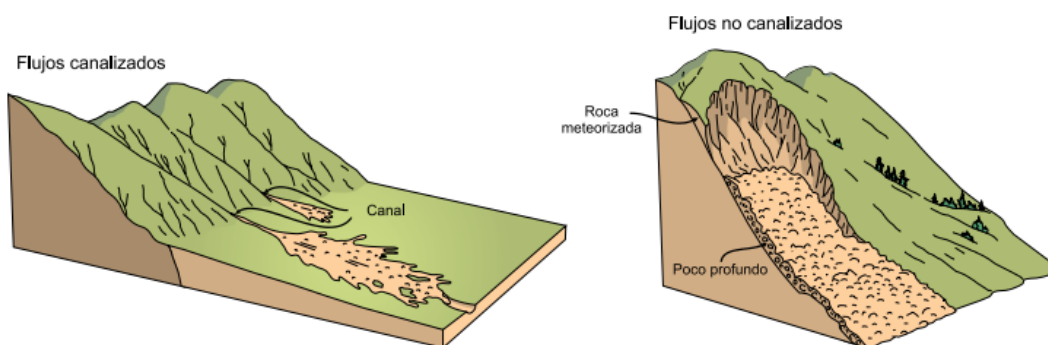
Ocurren con alguna frecuencia pequeños flujos secos de material granular y se ha registrado un número considerable de flujos grandes y catastróficos en materiales secos. (Como se cita en Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

### **2.2.2 Flujo de detritos (Debris flows) (Avenida Torrencial)**

Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (Índice de plasticidad menor al 5%), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los



depositan en abanicos de detritos (Figura 4). Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de u, trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. Los flujos de detritos desarrollan pulsos usualmente con acumulación de bloques en el frente de onda. Como resultado del desarrollo de pulsos, los caudales pico de los flujos de detritos pueden exceder en varios niveles de magnitud a los caudales pico de inundaciones grandes. Esta característica hace que los flujos de detritos tengan un alto potencial destructivo. (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)



*Figura 4. Esquema flujo canalizado y no canalizado (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)*

### **2.2.3 Crecida de detritos (Debris floods)**

Flujo muy rápido de una crecida de agua que transporta una gran carga de detritos a lo largo de un canal, usualmente también llamados flujos hiperconcentrados. Es difícil distinguir entre un flujo de detritos y una crecida de detritos con base en la concentración de sedimentos, por lo que deben diferenciarse según el caudal pico observado o potencial.

Las crecidas de detritos se caracterizan por caudales pico 2 ó 3 veces mayores que el de una crecida de agua o inundación. De esta manera, la capacidad de daño de una crecida de detritos es similar a la de una inundación y los objetos impactados quedan enterrados o rodeados por los detritos, con frecuencia sin sufrir daño. (Como se cita en Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

#### **2.2.4 Flujo de lodo (Mud flow)**

Flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos, cuyo contenido de agua es significativamente mayor al del material fuente (Índice de Plasticidad mayor al 5%). El carácter de este tipo de movimiento es similar al del flujo de detritos, pero la fracción arcillosa modifica la reología del material. También se distingue de los deslizamientos por flujo de arcilla, en que el flujo de lodo incorpora agua superficial durante el movimiento, mientras que el deslizamiento por flujo ocurre por licuación in situ, sin un incremento significativo del contenido de agua. (Como se cita en Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

#### **2.2.5 Flujo de tierra (Earth flow)**

Es un movimiento intermitente, rápido o lento, de suelo arcilloso plástico. Los flujos de tierra desarrollan velocidades moderadas, con frecuencia de centímetros por año, sin embargo, pueden alcanzar valores hasta de metros por minuto (Hutchinson, 1998). El volumen de los flujos de tierra puede llegar hasta cientos de millones de metros cúbicos. Las velocidades medidas en flujos de tierra generalmente están en el intervalo de  $10^{-5}$  a

$10^{-8}$  mm/s, y por tanto son generalmente lentos o extremadamente lentos. (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

### **2.2.6 Deslizamiento por flujo (deslizamiento por licuación) (Flow slide)**

El término flow slide fue introducido por Casagrande (1936), para designar deslizamientos que en fases posteriores a su iniciación se comportan como un flujo, como resultado de licuación (Varnes, 1978). Hungr et al. (2001) lo definen como flujo muy rápido o extremadamente rápido de una masa de suelo con estructura granular ordenada o desordenada. Ocurre en taludes de pendiente moderada e involucra un exceso de presión de poros o licuación del material en la zona donde se origina el movimiento en masa. De acuerdo con el tipo de material, puede denominarse más específicamente como: deslizamiento por flujo de arena, deslizamiento por flujo de limo, deslizamiento por flujo de detritos o deslizamiento por flujo de roca débil. Debe enfatizarse que este término implica la licuación del material que hace parte del movimiento en masa, aunque en general la licuación ocurre sólo después de un desplazamiento importante. (Como se cita en Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

### **2.2.7 Avalancha de detritos (debris avalanches)**

Flujo no canalizado de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundos, muy rápidos a extremadamente rápidos. Estos movimientos comienzan como un deslizamiento superficial de una masa de detritos que al desplazarse sufre una considerable distorsión interna y toma la condición de flujo. Relacionado con la ausencia de canalización de estos movimientos, está el hecho de que presentan un menor grado de

saturación que los flujos de detritos, y que no tienen un ordenamiento de la granulometría del material en sentido longitudinal, ni tampoco un frente de material grueso en la zona distal (Como se cita en Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

### **2.2.8 Avalancha de rocas (rock avalanches)**

Las avalanchas de rocas son flujos de gran longitud extremadamente rápidos, de roca fracturada, que resultan de deslizamientos de roca de magnitud considerable. Pueden ser extremadamente móviles y su movilidad parece que crece con el volumen. Sus depósitos están usualmente cubiertos por bloques grandes, aun cuando se puede encontrar bajo la superficie del depósito material fino derivado parcialmente de roca fragmentada e incorporada en la trayectoria. Algunos depósitos de avalanchas pueden alcanzar volúmenes del orden de kilómetros cúbicos y pueden desplazarse a grandes distancias; con frecuencia son confundidos con depósitos morrénicos. Las avalanchas de rocas pueden ser muy peligrosas, pero afortunadamente no son muy frecuentes incluso en zonas de alta montaña. Algunas avalanchas de roca represan ríos y pueden crear una amenaza secundaria asociada al rompimiento o colmatación de la presa (Figura 1.36). Las velocidades pico alcanzadas por las avalanchas de rocas son del orden de 100 m/s, y las velocidades medias pueden estar en el rango de 30–40 m/s. (Como se cita en Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007)

### **2.3 Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa tipo flujo**

el Servicio Geológico Colombiano (2017), estructura la zonificación de

susceptibilidad por movimientos en masa, dentro de la zonificación de amenaza. Las

etapas del proceso (figura 5), a través de las cuales se obtiene el producto final de

zonificación de amenaza son:

- Caracterización geoambiental
- Análisis de susceptibilidad
- Caracterización de la amenaza

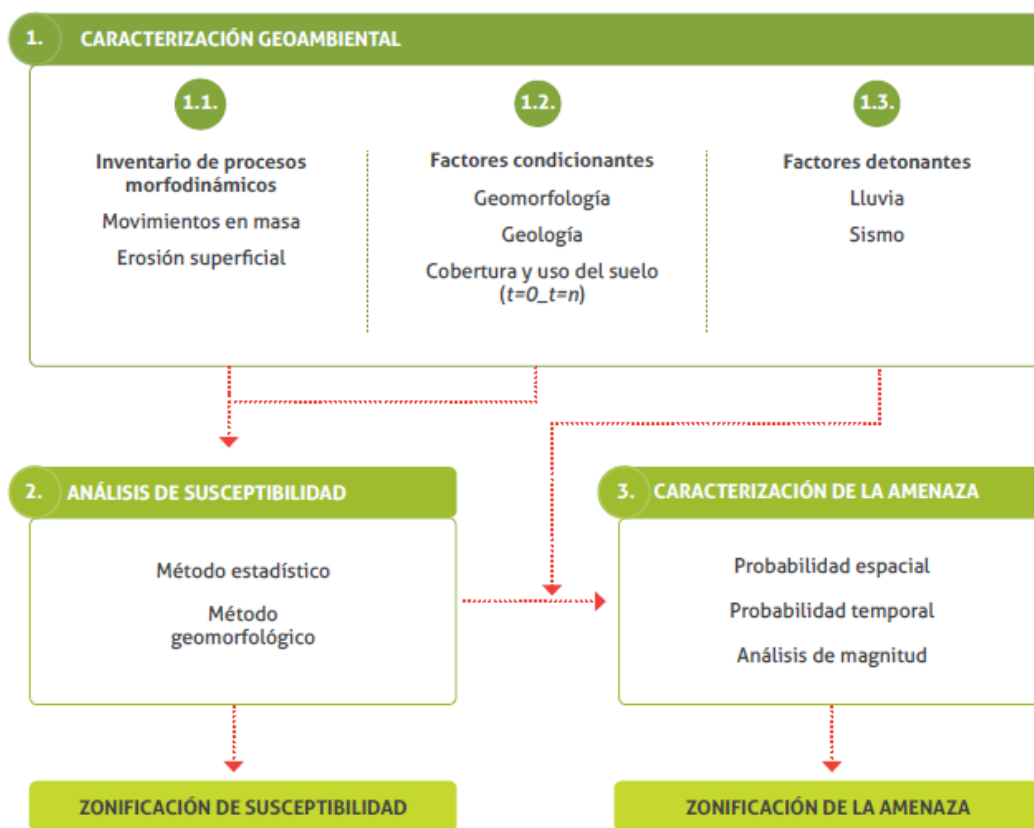


Figura 5. Marco de referencia para el análisis de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25000 (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

En la figura 5 se observa cómo los componentes 1.1 y 1.2 de la caracterización ambiental son los insumos necesarios para realizar el análisis de susceptibilidad. La guía metodológica propone dos métodos para realizar dicho análisis: el método estadístico y el método geológico.

Independiente del método, el **inventario de procesos morfodinámicos** es el insumo más importante para establecer la relación entre un factor o combinación de factores condicionantes y la posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa. El análisis del

inventario de procesos morfodinámicos debe permitir plantear las hipótesis sobre las zonas más o menos propensas a la inestabilidad (susceptibles), las cuales serán comprobadas y validadas a partir de estadística y criterio experto. (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

### **2.3.1 Inventario de Procesos Morfodinámicos**

La elaboración del inventario de procesos morfodinámicos debe permitir entender la ocurrencia de los movimientos en masa y sus características más importantes: fecha de ocurrencia, localización, forma, dimensiones, los factores que intervinieron o intervienen en su ocurrencia o su potencialidad de ocurrencia, el mecanismo que conduce a la falla del terreno, los factores detonantes, la dinámica del movimiento, la magnitud e intensidad. (Como se cita en Servicio Geológico Colombiano, 2017)

El inventario de procesos se puede clasificar en:

**Catálogo:** El catálogo es una base de datos con información de la ocurrencia histórica de movimientos en masa, obtenida a partir de fuentes de información secundaria como: comunicados de prensa, reportes de la Cruz Roja, la Defensa Civil, Bomberos, entre otras. Este tipo de información presenta limitaciones técnicas, pero en un alto porcentaje da cuenta de los impactos de los eventos de manera cualitativa o cuantitativa. (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

**Inventario de información secundaria:** incluye la información obtenida de literatura, u otro tipo de reportes, bases de datos de movimientos en masa y demás fuentes posibles de información. (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

**Inventario geomorfológico:** este tipo de inventario está basado en pruebas o rasgos geomorfológicos verificados tanto en el trabajo de campo como a través de la interpretación visual y procesamiento digital de imágenes. Esta información es equivalente a la encontrada en los registros tipo Inventario del SIMMA. Este inventario se divide en:

- a. Históricos: este tipo de inventario no contiene información temporal, solo espacial.
- b. Basados en eventos: denominado en la literatura también como inventario de eventos. Este hace referencia a los movimientos en masa que tienen una relación con la ocurrencia de algún evento detonante específico (lluvia o sismo). La fecha de ocurrencia del movimiento en masa corresponde a la fecha o periodo de ocurrencia del evento detonante. Incluye también información espacial. (Como se cita en Servicio Geológico Colombiano, 2017)
- c. Multitemporales: incluyen información espacio-temporal y la fecha de ocurrencia de los procesos detonados se obtiene a partir de investigación de campo directamente después de su ocurrencia o por interpretación de imágenes de sensores remotos adquiridas de varias épocas consecutivas. (Como se cita en Servicio Geológico Colombiano, 2017)



### 2.3.2 Factores condicionantes

Como lo especifica el Servicio Geológico Colombiano (2017), **la geomorfología** constituye el factor más importante para el análisis de la evolución del territorio y su relación con la ocurrencia de procesos con características definidas.

Para el análisis de susceptibilidad por procesos tipo flujo o caída, el Servicio Geológico Colombiano (2017) propone la definición de **subunidades y rasgos geomorfológicos indicativos de susceptibilidad.**

### 2.3.3 Susceptibilidad por Movimientos en Masa Tipo Flujo

En Colombia, las propuestas metodológicas para la evaluación de susceptibilidad y amenaza por **flujos clasificados como avenida torrencial** a escala 1:25.000 son frecuentemente geomorfológicas y de criterio experto, debido a la necesidad de información y la complejidad para el uso de modelos numéricos o analíticos. (Como se cita en Servicio Geológico Colombiano, 2017)

De acuerdo con Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & UNAL (2013), los movimientos en masa tipo flujo (de lodos y detritos) que han sido clasificados como avenida torrencial se presentan en cuencas con características morfométricas y climáticas particulares como las siguientes (Como se cita en Servicio Geológico Colombiano, 2017):

**Tamaño de la cuenca:** cuencas pequeñas entre  $0,3 \text{ km}^2$  y  $150 \text{ km}^2$ , algunos autores refieren tamaños hasta de  $300 \text{ km}^2$ .

**Forma de cuenca:** cuencas con formas circulares. Para la definición de la forma de la cuenca se pueden usar índices como el de Gravellius, que relaciona el perímetro de la cuenca y su área; o el factor de forma que además utiliza la longitud axial de la cuenca. Estos índices permiten tener una idea de la probabilidad de crecientes (Como se cita en Servicio Geológico Colombiano, 2017)

**Pendiente:** cuencas con valores de pendiente media en sus laderas entre  $27^\circ$  y  $38^\circ$ , y pendientes longitudinales del cauce mayores a  $12^\circ$  (Como se cita en Servicio Geológico Colombiano, 2017).

**Geomorfología:** los flujos se presentan especialmente en cuencas con cañones en V, relieves abruptos y cambios bruscos de pendiente del cauce y en general, se evidencian depósitos de material fluvio-torrencial.

**Precipitación:** cuencas localizadas en zonas con precipitaciones de alta intensidad. (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

Una vez se cuente con las características morfométricas indicativas de ocurrencia de flujos en la cuenca, el Servicio Geológico Colombiano (2017) propone para el análisis de susceptibilidad a escala 1:25.000 la identificación de zonas susceptibles a ser afectadas mediante el mapeo directo de subunidades geomorfológicas.

La susceptibilidad se obtiene a partir de la cartografía de subunidades indicativas como las presentadas en la tabla 1. En este caso, se propone extraer estas zonas directamente del mapa geomorfológico y categorizar su susceptibilidad con base en las

características que las definen (Tabla 2). Existen geoformas que pueden constituir posibles zonas de aporte de material durante el tránsito del flujo, las cuales a criterio del experto pueden también ser mapeadas como zonas de susceptibilidad (Tabla 3).

*Tabla 1. Unidades/Subunidades indicativas de procesos tipo flujo/avenidas torrenciales*

<b>Ambiente Geomorfológico</b>	<b>Unidad/Subunidad Geomorfológica</b>	<b>Acrónimo</b>
<b>Denudacional</b>	Cono o lóbulo de flujo indiferenciado	Dft
	Lóbulo y cono de avalancha de detritos	Dlcad
	Lóbulo y cono de avalancha de rocas	Dlcar
<b>Fluvial</b>	Abanico aluvial	Faa
	Abanico aluvial antiguo	Faaa
	Abanico aluvial subreciente	Faas
	Abanico aluvial actual	Faaac
	Abanico aluvial incisado	Faai
	Abanicos aluviales coalescentes no diferenciados (bajadas)	Fac
	Cono de deyección	Fcdy

Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

*Tabla 2. Categorías de susceptibilidad por movimientos en masa tipo flujo*

<b>Clase o categoría de susceptibilidad</b>	<b>Unidad/Subunidad geomorfológica</b>
<b>ALTA</b>	Dlcad, Dlcar, Faaac, Fcdy
<b>MEDIA</b>	Faas
<b>BAJA</b>	Faaa, Faai

Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

Tabla 3. *Geoformas indicativas de zonas de aporte de sedimentos en avenidas torrenciales.*

<b>Ambiente geomorfológico</b>	<b>Unidad/subunidad geomorfológica</b>	<b>Acrónimo</b>
<b>Volcánico</b>	Cono lahárico	Vcl
	Escarpe de flujo lahárico aterrazado	Vflae
	Escarpe de flujo piroclástico aterrazado	Vfpe
	Flujo lahárico aterrazado	Vfla
	Flujo piroclástico aterrazado	Vfp
	Lóbulo de flujo lahárico	Vlfp
	Lóbulo de flujo piroclástico	Vlfl
<b>Glaciar</b>	Cono y lóbulo de gelifracción	Gclg
	Conos glaciofluviales	Gcgf
	Flujo volcánico glaciado	Gfv
<b>Fluvial</b>	Albardones o dique natural	Fa
	Complejo de orillales	Fco
	Planicie aluvial confinada	Fpac
	Plano o llanura de inundación	Fpi
	Terraza de acumulación	Fta
	Escarpe de terraza de acumulación	Ftae
	Terraza de acumulación subreciente	Ftas
	Terraza de acumulación antigua	Ftan
	Plano anegadizo	Fpa

Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2017)

Otra clasificación de subunidades dada por el Servicio Geológico Colombiano, se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Geoformas indicativas asociadas a eventos fluviotorrenciales

GEOFORMAS INDICATIVAS ASOCIADAS A EVENTOS FLUVIOTORRENCIALES		
AMBIENTE GEOMORFOLÓGICO	UNIDAD/SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ACRÓNIMO
VOLCÁNICO	Cono lahárico	Vcl
	Escarpe de flujo lahárico aterrazado	Vflae
	Flujo lahárico aterrazado	Vfla
	Flujo piroclástico aterrazado- Terraza de flujo piroclástico	Vfp-Vtfp
	Lóbulo de flujo lahárico	Vlfp
	Lóbulo de flujo piroclástico	Vlfl
GLACIAR	Cono y lóbulo de gelifracción	Gclg
	Conos glaciofluviales	Gcgf
	Flujo volcánico glaciado	Gfv
DENUDACIONAL	Cono o lóbulo de flujo indiferenciado	Dft
	Lóbulo y cono de avalancha de detritos	Dlcad
	Lóbulo y cono de avalancha de rocas	Dlcar
FLUVIAL	Abanico aluvial	Faa
	Abanico aluvial antiguo	Faaa
	Abanico aluvial subreciente	Faas
	Abanico aluvial actual	Faaac
	Abanico aluvial incisado	Faai
	Abanicos aluviales coalescentes no diferenciados (bajadas)	Fac
	Divagación del cauce activo	Fdc
	Albardones o dique natural	Fa
	Complejo de orillales	Fco
	Planicie aluvial confinada	Fpac
	Plano o llanura de inundación	Fpi
	Terraza de acumulación	Fta
	Escarpe de terraza de acumulación- Escarpe de terraza aluvial	Ftae
	Terraza de acumulación subreciente	Ftas
	Terraza de acumulación antigua	Ftan
	Plano anegadizo	Fpa
	Terraza de acumulación alta	Ftaa
	Terraza de acumulación media	Ftam
Terraza de acumulación baja	Ftab	
Escarpe de abanico	Fea	

---

**GEOFORMAS INDICATIVAS ASOCIADAS A EVENTOS FLUVIOTORRENCIALES**


---

<b>AMBIENTE GEOMORFOLÓGICO</b>	<b>UNIDAD/SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA</b>	<b>ACRÓNIMO</b>
	Escarpe de cono de deyección	Fecdy
	Escarpe de terraza fluviotorrencial	Ffte
	Cono de deyección	Fcdy
	Terraza fluviotorrencial	Fftt
	Abanico fluviotorrencial actual	Fafta
	Abanico fluviotorrencial coalescente antiguo	Faftca

Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2020)

#### **2.4 Caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas**

Los parámetros morfométricos a analizar, para determinar la susceptibilidad a

movimientos en masa tipo flujo (avenidas torrenciales) son:

##### **2.4.1 Área (A)**

Está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. (Lux, 2016)

##### **2.4.2 Perímetro (P)**

Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros. (Lux, 2016)

### **2.4.3 Longitud de la cuenca (L)**

Se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (punto de desfogue) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca. (Lux, 2016)

### **2.4.4 Longitud del cauce principal (Lc)**

Es la medida de la longitud (en Km) desde el punto de concentración hasta el tramo de mayor longitud del mismo. (Lux, 2016)

### **2.4.5 Altura máxima de la cuenca**

Es la altura máxima que se presenta en la cuenca. (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2018)

### **2.4.6 Altura máxima del cauce principal**

Es la altura máxima que se presenta en el cauce principal de la cuenca. (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2018)

### **2.4.7 Ancho promedio (B)**

Es la relación entre el área de drenaje de la cuenca y la longitud de la misma (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2018)

$$B = \frac{A}{L}$$

### 2.4.8 Frecuencia de Orden de drenaje (Fs)

Es una medida no métrica, que nos da el número de cauces por unidad de área, considerando cauce como un segmento del cauce de Strahler, es decir del punto en que inicia un tipo de orden hasta cuando cambia. (Matauco, 2004)

$$F_s = \frac{Nu}{A}$$

Nu: Número total de segmentos de flujo de orden "u"

A: área encerrada dentro del límite de la cuenca (área de la cuenca).

### 2.4.9 Constante de Compacidad (Kc)

Este parámetro es adimensional y relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca.

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{A\pi}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Siendo Kc, índice de compacidad; P, perímetro de la cuenca (km) y A, área de la cuenca en Km<sup>2</sup>. Un índice de compacidad cercano al valor 1 indica que la forma de la cuenca se asemeja a un círculo; por lo tanto, la peligrosidad de la cuenca a las crecidas es mayor, porque existe una equidistancia relativa de los puntos de la divisoria con respecto a uno central. Cuando estos valores se acercan progresivamente hasta 1,75, las cuencas tienden a ser alargadas. Valores superiores indican cuencas irregulares y con menor peligrosidad a las crecidas. (ver tabla 5) (Camino M. , y otros, 2018)



Tabla 5. Clasificación índice de Compacidad de Gravelius

<b>Kc</b>	<b>Clasificación</b>
<b>1 a 1,25</b>	Casi redonda a oval-redonda
<b>1,25 a 1,5</b>	Oval redonda a oval-oblonga
<b>1,5 a 1,75</b>	Oval oblonga a rectangular oblonga
<b>&gt;1,75</b>	Rectangular

Fuente: (Camino, M. Bó, J. Cionchi y J. Armendita, L, 2018)

#### 2.4.10 Factor de forma (Kf)

Es la relación entre el área de la cuenca y el cuadrado máximo del recorrido (L). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas o lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda a ciertos valores extremos grandes o pequeños (tabla 6) (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2018)

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

<b>Kf</b>	<b>Característica</b>
<b>&lt;1</b>	Tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas torrenciales
<b>1</b>	Cuadrada
<b>&gt;1</b>	Tiende a ser achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas torrenciales

Tabla 6. Clasificación del factor de forma. Fuente: (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2018)

### 2.4.11 Índice de alargamiento (Ia)

Relaciona la longitud del cauce encontrada en la cuenca (Lc), medida en el sentido principal, y el ancho máximo de ella (B). Éste define si la cuenca es alargada, cuando su valor es mucho mayor a la unidad, o si es muy achatada, cuando son valores menores a la unidad (tabla 7).

$$Ia = \frac{Lc}{B}$$

Tabla 7. Clasificación del índice de alargamiento

la	Característica
la>1	Cuenca alargada
la<1	Cuenca achatada y por lo tanto el cauce principal es corto

Fuente: (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2018)

### 2.4.12 Índice de asimetría (Ias)

Es la relación del área de las vertientes, mayor ( $A_{\text{mayor}}$ ) y menor ( $A_{\text{menor}}$ ), las cuales son separadas por el cauce principal. Este factor evalúa la homogeneidad en la distribución de la red de drenaje, pues si se tiene un índice mucho mayor a 1 se observará sobre la cuenca que el río principal estará recargado a una de las vertientes, lo cual implica una heterogeneidad en la distribución de la red de drenaje, aumentando la descarga hídrica de la cuenca a esta vertiente, lo que incrementa en cierto grado los niveles de erodabilidad

(tabla 8) a causa de los altos eventos de escorrentía superficial obtenidos.

(Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2018)

$$Ias = \frac{A_{mayor}}{A_{menor}}$$

Donde Ias: Índice de asimetría (adimensional),  $A_{mayor}$ : vertiente mayor ( $\text{km}^2$ ) y  $A_{menor}$ : vertiente menor ( $\text{km}^2$ ) (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2018)

*Tabla 8. Clasificación índice de asimetría*

<b>Ias</b>	<b>Características</b>
<b>Ias &gt; 1</b>	Cauce principal bastante recargado a una de las vertientes
<b>Ias = 1</b>	Distribución uniforme del cauce principal

Fuente: (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2018)

#### **2.4.13 Densidad de drenaje**

Es la relación de la longitud de todos los ríos de una cuenca con su superficie. El total de cursos de agua está dado por la suma de las longitudes de Talwegs de cada orden encontrada en la cuenca. La densidad de drenaje se considera para caracterizar cuantitativamente la red hidrográfica de la cuenca, además, aclara el grado de relación entre el tipo de red de drenaje y la clase de escurrimiento dominante en la hoya. (Matauco, 2004) Está dada por la ecuación:

$$Lx = L1 + L2 + L3 + L4$$

$$Dd = Lx/A$$

Donde: Ln: es el orden, Dd: es la densidad de drenaje, A: es el área de la cuenca  
y Lx: es la longitud total de los Talwegs

Cuando la Dd es inferior a 2.5 Km/Km<sup>2</sup>, se dice que es baja (Tabla 9), se debe hacer protección máxima de las pocas redes hídricas de la cuenca.

Tabla

9. Clases de densidad de drenajes

Clase de densidad de drenaje	
Rangos de drenaje	Clases
0.1-1.8	Baja
1.9-3.6	Moderada
3.7-5.8	Alta

Fuente: (Matauco, 2004)

#### 2.4.14 Constante del canal

Es la constante de mantenimiento de canal, es decir, la superficie de terreno media necesaria para soportar una unidad de longitud del cauce. Se pueden distinguir diferentes tipos de regímenes hidrológicos, ya que se dan valores menores en las regiones más húmedas. (Matauco, 2004) Está dada por la ecuación:

$$C = 1/D$$

Donde C es la constante del canal y D es la densidad de drenaje.

#### 2.4.15 Radio de bifurcación – Relación de bifurcación (Rb)

Se define como la relación entre el número de cauces de cualquier orden ( $N_i$ ) y el número de cauces del siguiente orden superior  $N_{i+1}$ . En otras palabras, es la relación de cada orden con el inmediato superior:

$$Rb = N_i / N_{i+1}$$

El valor teórico mínimo para  $Rb$  es 2 y Strahler encontró un valor típico entre 3 y 5 en cuencas donde la estructura geológica no distorsione el patrón de drenaje natural. (Los patrones de drenaje son un primer indicio sobre la evolución reciente de las cuencas y los factores que han influido en su desarrollo). Una relación de bifurcación  $<3.0$  se puede considerar bajo si se considera que Strahler (1974) plantea que los valores de esta relación oscilan entre 3 y 5. La relación de bifurcación determina la mayor y menor rapidez de las ondas de crecida que define el grado de peligrosidad de la cuenca. (Como se cita en Suarez, 2010)

#### **2.4.16 Radio de elongación – Relación de elongación**

Esta relación fue definida por Schumm, la cual consiste en el cociente entre el diámetro de un círculo que posee la misma área que la cuenca y la longitud del curso principal que la drena. Los valores inferiores a 1 implican formas alargadas y cuanto más se aleje de este valor mayor será su elongación. Esta característica se relaciona con el comportamiento hidrológico ante eventos de crecida: los índices más bajos indican cuencas elongadas y poseen mayor retardo en la concentración de la escorrentía. (Quiroga, D. Gil, V & Coronato, A, 2014)

La fórmula es la propuesta por Shumm (1956):

$$Re = \frac{D}{Lc} = 1.1284 * \sqrt{Ac}/Lc$$

Dónde: Re; Relación de elongación o cociente adimensional entre D: Diámetro de un círculo de la misma área de la cuenca Lc: Longitud de la cuenca. (Como se cita en Quiroga, D. Gil, V & Coronato, A, 2014)

#### **2.4.17 Relación de textura de drenaje**

En la relación de textura de drenaje, se considera la influencia de los factores litológicos, edáficos y topográficos, donde la permeabilidad del suelo juega un importante papel. Así se clasifica en tres grupos: fina, media y gruesa, en función de la densidad de hilillos de agua que la red ha sido capaz de excavar. En general la densidad es bastante elevada, y las zonas con menor densidad de drenaje coinciden con las zonas más llanas, cultivadas o urbanizadas, donde los cauces se encuentran canalizados e incluso embocinados. (Matauco, 2004)

Está dada por la fórmula:

$$Rt = \frac{Nu}{P}$$

Dónde: Nu es el número total de segmentos de flujo de orden "u"

Donde P es la longitud del límite de la cuenca que rodea la cuenca (perímetro de la cuenca) (Matauco, 2004)

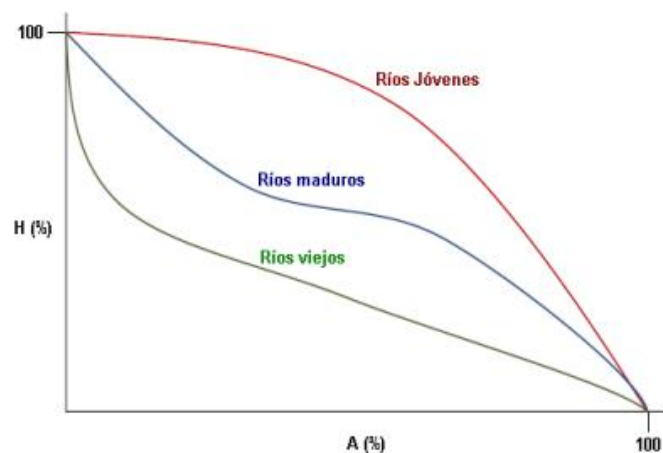
#### **2.4.18 Pendiente media del cauce (Sc)**

Es la relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima menos cota mínima) y la longitud del mismo. (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2018)

$$Sc = \frac{Hmax - Hmin}{L} * 100$$

#### **2.4.19 Curva hipsométrica**

La curva hipsométrica es una curva que representa el porcentaje de área que existe en la cuenca por encima de un valor de cota determinado. Sirven para definir características fisiográficas de las cuencas hidrográficas y representa las características topográficas de la cuenca en estudio. Se obtiene colocando en las ordenadas los valores correspondientes a las diferentes alturas de la cuenca referidos a la máxima de la misma y, en las abscisas, los valores de área que se encuentran por encima de las alturas correspondientes, referidas al área total de la cuenca. La función hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación. Las curvas hipsométricas también han sido asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas, se muestra en la figura 6. (Consortio Río Garagoa, 2017)



*Figura 6. Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del río Fuente: (Consortio Río Garagoa, 2017)*

#### **2.4.20 Coeficiente de torrencialidad (Ct)**

Índice que mide el grado de torrencialidad de la cuenca, por medio de la relación del número de cauces de orden uno con respecto al área total de la misma. A mayor magnitud, mayor grado de torrencialidad presenta una cuenca. (Ministerio de Agroindustria, 2018). Se determina a partir de la relación entre el número total de cursos de primer orden (Nc1) y el área total de la cuenca. Multiplica la densidad de drenaje por el número de cursos de orden 1, en relación con la superficie.

$$Ct = \frac{Nc1}{A}$$

A mayor número de cursos de primer orden y menor superficie, la torrencialidad de la cuenca será mayor. Es un indicador de la erodabilidad lineal y la capacidad de descarga



de una cuenca. Debido a que los cursos de primer orden son de génesis erosiva, altos valores indican elevada susceptibilidad a la erosión, menores tiempo de llegada al pico y alta torrencialidad. En otras palabras, los cursos de orden 1 son los de mayor importancia en la generación de flujos torrenciales y de inundaciones aluvionales veloces. Este parámetro permite interpretar el comportamiento del flujo de agua en la cuenca. (Camino M. A., y otros, 2018)

#### **2.4.21 Índice de Melton (IM)**

Este índice se usa para diferenciar cuencas, basándose en la dinámica de sedimentos. Este índice se utiliza como índice de torrencialidad. Diversos estudios sugieren que valores del índice de Melton mayores a 0,6 representan una alta torrencialidad asociada a la ocurrencia de flujo de detritus. (Vidal, Barrios, & Rivas, Zonificación y jerarquización por amenaza torrencial de las quebradas que cruzan la troncal 5 entre las Playitas y Mesa Bolivar, cuenca del Río Mocotíes, Mérida-Venezuela, 2013)

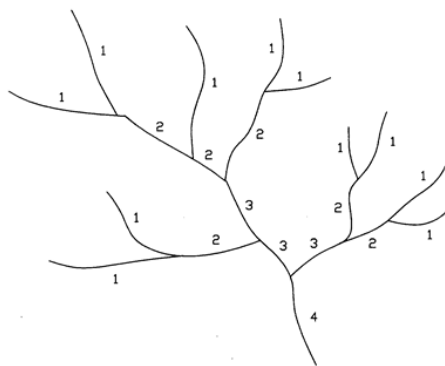
$$IRM = (Hmax - Hmin / \sqrt{a})$$

Donde: Hmax: cota de la altura máxima de la cuenca en Km, Hmin: cota altura mínima de la cuenca en Km y A: es el área de la cuenca expresada en Km<sup>2</sup>

#### **2.4.22 Orden de drenaje**

Es un número que refleja el grado de ramificación del Sistema de Drenaje. Existen diversos criterios para el ordenamiento de los cauces de la red de drenaje en una cuenca hidrográfica; según Strahler (figura 7), determina que (Sanchez, 2006): Los cauces de

primer orden son los que no tienen tributarios. Los cauces de segundo orden se forman en la unión de dos cauces de primer orden y, en general, los cauces de orden  $n$  se forman cuando dos cauces de orden  $n-1$  se unen. Cuando un cauce se une con un cauce de orden mayor, el canal resultante hacia aguas abajo retiene el mayor de los órdenes. El orden de la cuenca es el mismo que el de su cauce principal a la salida.



*Figura 7. Configuración de Strahler*

#### **2.4.23 Tiempo de concentración (Tc)**

Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. Para su cálculo se pueden emplear diferentes fórmulas que se relacionan con otros parámetros propios de la cuenca. (Rojo, 2014)

Kirpich en 1942 desarrolló una ecuación empírica, a partir de información antecedente de siete cuencas rurales estadounidenses, con canales bien definidos y pendientes pronunciadas (3 a 10%). La ecuación siguiente muestra su expresión de cálculo. (Como se cita en Gaspari, y otros, 2012)

$$T_c = 0.066 \left( \frac{L}{\sqrt{S_0}} \right)^{0.77}$$

Donde  $T_c$ : tiempo de concentración (horas);  $L$ : longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida (Km) y  $S_0$ : pendiente media del cauce (m/m).

Este parámetro depende de los siguientes factores: **Tamaño de la cuenca**: a mayor tamaño mayor  $t_c$ . **Topografía**: a mayor accidentalidad o pendiente, menor  $t_c$ . **La forma**: las cuencas alargadas presentan menores  $t_c$  que las cuencas apaisadas o redondeadas. (Gaspari, y otros, 2012)

Otros autores han planteado otras ecuaciones para calcular el tiempo de concentración:

Ecuación de Témez:

$$T_C = 0,30 * \left( \frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76}$$

Donde:  $T_c$  Tiempo de concentración, en horas (h).  $L$  Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).  $S$  Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m).

(Consorcio Río Garagoa, 2017)

Ecuación de Giandotti:

$$T_C = \frac{4A^{0.5} + 1,5L}{25,3(L * S)^{0,5}}$$

Donde:  $T_c$  Tiempo de concentración, en horas (h).  $A$  Área de la cuenca, en kilómetros cuadrados ( $\text{km}^2$ ).  $L$  Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).  $S$  Pendiente del cauce principal, en metros por metro (m/m). (Consortio Río Garagoa, 2017)

Ecuación de V,T, Chow:

$$T_c = 0,273 \left( \frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,64}$$

Donde:  $T_c$  Tiempo de concentración, en horas (h).  $L$  Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).  $S$  Pendiente total del cauce principal, en metros por metro (m/m). (Consortio Río Garagoa, 2017)

## **2.5 Revisión bibliográfica de parámetros morfométricos de torrencialidad**

En la tabla 10 se referencian los diferentes rangos de los parámetros de torrencialidad, detallando los rangos propuestos por diferentes autores.

Tabla 10. Revisión bibliográfica de parámetros morfométricos de torrencialidad

Parámetro	Fuente			
	Título	Año	Rango	Referencia
constante de compacidad	Causas de las avenidas torrenciales e inundaciones rápidas en el Departamento del Huila en los municipios de Algeciras, Campoalegre, Neiva y Rivera en Febrero del 2017.	2019	El grado de aproximación del coeficiente de compacidad a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir mayor concentración de agua.(Hernández J. D., 2019).	(Méndez & Manchego, 2019)
	Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación.	2014	Más redondeada es el área de aporte, < Rb y >Riesgo de crecidas a la salida. (Gregory & Walling, 1973; Patton, 1988; Sala & Gay, 1981).	(López, Martínez, & Fernández, 2014)
Relación de bifurcación	Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del Río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas.	2004	<b>Rb&gt;4</b>	(González A. , 2004)
	Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires.	2018	Cuenca homogénea; <b>3 ≤ Rb ≤ 5</b> , Cuenca muy elongada; <b>Rb &gt; 10</b> .	(Camino M. A., y otros, 2018)

Parámetro	Fuente			
	Título	Año	Rango	Referencia
	Índices morfométricos a diferentes escalas aplicados al peligro de crecidas en cuencas pequeñas. Cuenca del arroyo San Bernardo, Argentina	2019	Los índices bajos suelen relacionarse con redes fuertemente ramificadas, lo que repercute directamente ante fuertes precipitaciones en ondas de crecidas rápidas (Jardí, 1985; Senciales González, 1999; Gómez et al., 2017; Meza et al., 2018). Por otra parte, según Senciales González (1999) los <b>valores próximos a 2</b> revelan cuencas o áreas de escaso relieve, los <b>valores entre 3 y 5</b> corresponden a áreas montañosas con escasa dependencia estructural y aquellos <b>valores superiores a 5</b> indican una fuerte dependencia	(Gil, Volonté, & Campo, Índices morfométricos a diferentes escalas aplicados al peligro de crecidas en cuencas pequeñas. Cuenca del arroyo San Bernardo, Argentina, 2019)
	Caracterización hidroclimatológica y morfométrica de la cuenca del río San Julián (estado Vargas, Venezuela): aportes para la evaluación de la amenaza hidrogeomorfológica.	2015	<b>Rb&gt;4</b> , Alta probabilidad de experimentar crecidas con caudales pico importantes.	(Méndez, Pacheco, Cartaya, Marcano, & León, 2015)
	Análisis morfométrico multiescalar en la cuenca alta del arroyo Sauce Corto (Buenos Aires, Argentina)	2019	Strahler (1964) establece que <b>Rb superiores a 4</b> indican una torrencialidad alta.	(Moretto, Gentili, & Campo, 2019)

Parámetro	Fuente			
	Título	Año	Rango	Referencia
	Características morfológicas, fisiográficas e hidrológicas de la cuenca del Río Galarza (Salta Argentina) y su comportamiento frente a las crecidas	2019	Cuando mayor es la diferencia entre las relaciones de bifurcación de los cauces de diferentes órdenes, indica que en nacientes continuarán ocurriendo procesos erosivos en búsqueda de una mayor estabilización (Vich, 1996 y Ferreira, 2018)	(Ferreira & Prado, 2019)
	Influencia de la litología en la variación de los parámetros morfométricos, sistema de Ventania, Argentina.	2009	<b>Los valores entre 3 y 5</b> corresponden a cuencas de montaña y sin demasiada dependencia estructural (Senciales González, 1999 y Strahler, 1974).	(Gil, Gentili, & Campo, Influencia de la litología en la variación de los parámetros morfométricos, sistema de Ventania, Argentina., 2009)
	Morfometría fluvial aplicada a una cuenca urbana en Ingeniero White, República Argentina.	2012	<b>Rb (valores bajos o cercanos a 2)</b> , Corresponden a cuencas de menor pendiente (Gil, 2009). Las altas relaciones de bifurcación indican áreas de fuertes pendientes con rápida concentración de la escorrentía, pero con picos de crecida poco importantes y los bajos valores suelen presentar los más altos riesgos de inundación por concentración brusca de la escorrentía. (Senciales, 1999). En cuencas naturales: <b>Rb cercano a 2</b> , áreas de escaso relieve; <b>Rb (3-5)</b> , áreas de montaña sin demasiado control estructural; <b>Rb&gt;5</b> , fuerte dependencias de la estructura.	(Campo, Aldalur, & Fernández, 2012)

Parámetro	Fuente			
	Título	Año	Rango	Referencia
	Hidrogeomorfología de la cuenca alta del Rio Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas.	2009	<b>Rb cercanos a 2</b> , Áreas de escaso relieve. <b>Rb entre 3 y 5</b> , Áreas de montaña sin demasiado control estructural. <b>Rb&gt;5</b> , Fuerte dependencia de la estructura.	(Gil, Hidrogeomorfología de la cuenca alta del Rio Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas. (Tesis de doctorado), 2009)
	Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación.	2014	La relación de bifurcación media presenta pequeños rangos de variación para diferentes regiones o ambientes, exceptuando aquellos que son fuertemente influenciados por la geología. >Rb >Grado de Torrencialidad del áreas de drenaje y esta asociado con diferente respuesta de las crecidas, más si se combina con otras características morfométricas como el coeficiente de compacidad (Strahler,1964). Más redondeada es el área de aporte, < Rb y >Riesgo de crecidas a la salida. (Gregory & Walling, 1973; Patton, 1988; Sala & Gay, 1981).	(López, Martínez, & Fernández, 2014)
	Características fisiográficas y morfométricas de la cuenca hidrográfica Carrizal-Chone.	2013	<b>3&lt;Rb o Rb&gt;5</b> , la litología de la cuenca será homogénea.	(Burgos, Carpio, & Philco, 2013)
<b>Relación de elongación</b>	Caracterización morfométrica de la cuenca del Carrizal aplicada a la evaluación del peligro de inundaciones repentinas,	2012	la relación de alargamiento y el factor de forma tienen valores mucho más bajos que la unidad, que muestran una cuenca alargada	(Esper, Morphometric characterization of the Carrizal basin applied to the evaluation of flash floods hazard, San Juan, Argentina, 2012)



Parámetro	Fuente			
	Título	Año	Rango	Referencia
	San Juan, Argentina.			
	Causas de las avenidas torrenciales e inundaciones rápidas en el Departamento del Huila en los municipios de Algeciras, Campoalegre, Neiva y Rivera en Febrero del 2017.	2019	Relación de elongación está fuertemente relacionado con el relieve, regiones con bajo relieve presentan valores de <b>0.6 &lt; Re &lt; 0.1</b> , mientras que regiones con alto relieve y pendientes fuertes presentan valores de <b>Re ≤ 0.4</b> 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 <b>Re entre 0.6 a 0.8.</b>	(Méndez & Manchego, 2019)
	Hidrogeomorfología de la cuenca alta del Rio Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas.	2009	Las cuencas con mayor elongación se desarrollan sobre litologías más resistentes o mas impermeables. <b>Re&lt;1</b> , formas alargadas.	(Gil, Hidrogeomorfología de la cuenca alta del Rio Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas. (Tesis de doctorado), 2009)
	Características de las cuencas hidrográficas aplicado a las avenidas torrenciales conceptos preliminares	2020	<b>0,4-0,55</b> Baja susceptibilidad a torrencialidad. <b>0,55-0,7</b> Moderada susceptibilidad a torrencialidad. <b>0,7-0,85</b> Susceptible a torrencialidad. <b>0,85-1</b> Alta susceptibilidad a torrencialidad. (Keller y Pinter 1996)	(Rangel, López, Medina, & León, 2020)

Parámetro	Fuente			
	Título	Año	Rango	Referencia
<b>Coefficiente de torrencialidad</b>	Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires.	2018	A mayor número de cursos de primer orden y menor superficie, la torrencialidad de la cuenca será mayor (Romero Díaz y López Bermúdez, 1987). Es un indicador de la erodabilidad lineal y la capacidad de descarga de una cuenca. Debido a que los cursos de primer orden son de génesis erosiva, altos valores indican elevada susceptibilidad a la erosión, menores tiempo de llegada al pico y alta torrencialidad. En otras palabras, los cursos de orden 1 son los de mayor importancia en la generación de flujos torrenciales y de inundaciones aluvionales veloces (Busnelli y Horta, 2014)	(Camino M. A., y otros, 2018)
	Índices morfométricos a diferentes escalas aplicados al peligro de crecidas en cuencas pequeñas. Cuenca del arroyo San Bernardo, Argentina	2019	Debido a que los cursos de primer orden son de génesis erosiva, altos valores indican elevada susceptibilidad a la erosión, menores tiempo de llegada al pico y alta torrencialidad (Pons Martí y Soriano Soto, 1994). Los cauces de orden 1 son los de mayor importancia en la generación de flujos torrenciales y de crecidas repentinas.	(Gil, Volonté, & Campo, Índices morfométricos a diferentes escalas aplicados al peligro de crecidas en cuencas pequeñas. Cuenca del arroyo San Bernardo, Argentina, 2019)
	Delimitación hidrográfica y caracterización morfométrico de la cuenca del rio Metica.	2019	Coefficiente de torrencialidad: A mayor magnitud, mayor grado de torrencialidad de la cuenca.	(Rivas & Moreno, 2019)
	Diseño de bioingeniería para la mitigación de riesgo de remoción en masa en la microcuenca de la quebrada Cay.	2018	A mayor número de curso de primer orden y menor superficie, la torrencialidad de la cuenca será mayor.	(Muñoz & Carvajal, 2018)

Parámetro	Fuente			
	Título	Año	Rango	Referencia
	Causas de las avenidas torrenciales e inundaciones rápidas en el Departamento del Huila en los municipios de Algeciras, Campoalegre, Neiva y Rivera en Febrero del 2017.	2019	Para el coeficiente de torrencialidad se considera que a mayor magnitud, mayor grado de torrencialidad presenta una cuenca.	(Méndez & Manchego, 2019)
	Morfometría de cuencas Montanas y Metamorfosis Fluvial, Tucumán.	2014	El coeficiente de torrencialidad es un indicador de la erodabilidad de una región, muy relacionado a los procesos de erosión lineal y a la capacidad de descarga de una cuenca, altos valores, indican elevada susceptibilidad a la erosión, menores tiempo de llegada al pico y alta torrencialidad. Los ríos de orden 1 son los cursos fluviales de mayor importancia en la generación de flujos torrenciales y de inundaciones aluvionales veloces.	(Busnelli & Horta, 2014)
	Características de las cuencas hidrográficas aplicado a las avenidas torrenciales conceptos preliminares	2020	<b>Valores entre 0,76 y 3,85</b>	(Rangel, López, Medina, & León, 2020)
<b>Índice de Melton</b>	Evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. Caso de aplicación a la Quebrada Doña María	2009	<b>Índice de Melton &gt; 0.5</b> , Una microcuenca presenta torrencialidad	(Montoya, Silva, & González, 2009)

Parámetro	Fuente			
	Título	Año	Rango	Referencia
	Proceso de Revisión Ordinaria del POT(Plan de Ordenamiento Territorial)- Municipio de San José de Cúcuta	2017	<b>Índice de Melton &gt; 0.6</b> , Una microcuenca puede llegar a presentar torrencialidad (Wilford et al, 2004)	(Alcaldía de San José de Cúcuta, 2017)
	Cap 7. Caracterización de las condiciones de riesgo.	2018	<b>Índice de Melton &gt; 0,35</b> , Una microcuenca presenta torrencialidad	(Corpoamazonía, 2018)
	Análisis espacial y temporal de la ocurrencia de flujo de escombros en 3 cuencas adyacentes del margen occidental del río Grande: Quebrada de Humauaca, Jujuy, Argentina	2020	<b>índice Melton</b> se encuentran entre <b>0.29 y 1.71 para las cuencas de flujo de escombros, y entre 0.10 y 0.90 para las cuencas fluviales</b> . Las cuencas pequeñas (<20 km <sup>2</sup> ), resistentes y de bajo orden producen <b>abanicos</b> pequeños y empinados dominados por procesos de flujo de escombros que implican diferentes mezclas de sedimento y agua (Pierson 2005).	(Esper, Perucca, & Vargas, Spatial and temporal analysis of debris flow occurrence in three adjacent basins of the western margin of Grande River: Quebrada de Humahuaca, Jujuy, Argentina, 2020)
	Caracterización morfométrica de la cuenca del Carrizal aplicada a la evaluación del peligro de inundaciones repentinas, San Juan, Argentina.	2012	El índice de circularidad, la relación de alargamiento y el factor de forma tienen valores mucho más bajos que la unidad, que muestran una cuenca alargada, <b>La relación de Melton (MR) es &lt;0.3</b> , lo que apunta a una gran susceptibilidad de la cuenca a la ocurrencia de flujos de bajo contenido de material.	(Esper, Morphometric characterization of the Carrizal basin applied to the evaluation of flash floods hazard, San Juan, Argentina, 2012)

Parámetro	Fuente			
	Título	Año	Rango	Referencia
	Zonificación y jerarquización por amenaza torrencial de las quebradas que cruzan la Troncal 5 entre Las Playitas y Mesa Bolívar, cuenca del río Mocotíes, Mérida-Venezuela	2013	Diversos estudios (Millard et al., 2006, Iroume, 2003) sugieren que <b>valores del índice de Melton mayores a 0,6</b> representan una alta torrencialidad asociada a la ocurrencia de flujo de detritus	(Vidal, Barrios, & Rivas, Zonificación y jerarquización por amenaza torrencial de las quebradas que cruzan la Troncal 5 entre Las Playitas y Mesa Bolívar, cuenca del río Mocotíes, Mérida-Venezuela, 2013)
	Actualización POMCA Río Aurra- Caracterización de las condiciones del riesgo.	2019	<b>Índice de Melton &gt;0,5</b> , Una microcuenca presenta torrencialidad	(Corantioquia, 2019)
	Análisis de metodologías para la evaluación del riesgo por avenidas torrenciales aplicadas a cuencas de alta montaña en Colombia.	2020	<b>Índice de Melton &gt;0,5</b> , Microcuenca Torrencial (Montoya, Silva, & Gonzáles, 2009) <b>(Me=0,29-1,71)- Flujo de detritos (Me=0,1-0,9)- Zona inicio flujo</b> (Bertrand et al.2013) <b>Drenaje Torrencial =0,5</b> (Montoya et al., 2009) Segun Wilford et al., 2004: <b>(Me=0,26-1,21)-Flujo de detritos. (Me=0,66-1,21)-Zona inicio flujo (Me=0,08-0,49)-Inundación</b>	(Vera & Maira, 2020)
	Aplicabilidad del método del índice de Susceptibilidad Compuesto para la identificación de cuencas susceptibles a la ocurrencia de flujos	2019	<b>Melton &lt;0.3</b> , cuencas propensas a crecientes lentas que pueden llegar a desbordar el cauce principal. <b>Me &gt;0.3</b> , cuenca susceptibles a flujos torrenciales. (Welsh and Davies 2011). Los drenajes más susceptibles a generar flujos torrenciales corresponden a aquellos cauces de orden menor, dadas sus altas pendientes y su localización en la	(Gómez, 2019)

Parámetro	Fuente			
	Título	Año	Rango	Referencia
	torrenciales.		parte más alta de las cuencas (Zavoianu 1985)	
	El mapa para la prevención de riesgos geológicos de Cataluña 1:25.000: Aplicación de una metodología a escala regional para la evaluación de la susceptibilidad a generar flujos torrenciales.	2013	Relación de Melton vs Longitud: <b>Inundaciones (R. Melton &lt;0.3)</b> , Flujos hiperconcentrados ( <b>R. Melton(0.3-0.6)</b> , <b>R.Melton&gt;0.6</b> y Longitud>2.7), Corrientes de derrubios ( <b>R.Melton&gt;0.6</b> y Longitud <2.7) Relación de Melton vs Relieve: Inundaciones (R. Melton<0.3), Flujos hiperconcentrados (R. Melton (0.3-0.77), R.Melton>0.77 y R. Relieve<0.42), Corrientes de derrubios (R.melton>0.77 y R. Relieve>0.42) (Wilford et al., 2004).	(González, Pinyol, Camafort, Vilaplana, & Oller, 2013)
Densidad de drenaje	Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas Venezuela.	2006	La densidad del drenaje esta representada por la alta susceptibilidad de la litología a los procesos erosivos y el fracturamiento del material.	(Méndez & Marcucci, Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas Venezuela., 2006)
	Causas de las avenidas torrenciales e inundaciones rápidas en el Departamento del Huila en los municipios de Algeciras, Campoalegre,	2019	<b>Valores de densidad de drenaje próximo a 0.5 km/km2 o mayores</b> indican la eficiencia de la red de drenaje.	(Méndez & Manchego, 2019)

Parámetro	Fuente			
	Título	Año	Rango	Referencia
	Neiva y Rivera en Febrero del 2017.			
	Morfometría de cuencas Montanas y Metamorfosis Fluvial, Tucumán.	2014	Valores elevados de densidad de drenaje, indican el predominio del escurrimiento sobre la infiltración, bajo almacenamiento subsuperficial y subterráneo, rocas o sedimentos de texturas finas de relativamente baja permeabilidad y elevada susceptibilidad a la erosión.	(Busnelli & Horta, 2014)
	Índices morfométricos a diferentes escalas aplicados al peligro de crecidas en cuencas pequeñas. Cuenca del arroyo San Bernardo, Argentina	2019	Existe una clara correlación entre la densidad de drenaje y el coeficiente de torrencialidad, por lo cual se puede afirmar que <b>a mayor Dd, mayor será la torrencialidad de la cuenca</b> . Debido a que los cursos de primer orden son de génesis erosiva, altos valores indican elevada susceptibilidad a la erosión, menores tiempo de llegada al pico y alta torrencialidad (Pons Martí y Soriano Soto, 1994).	(Gil, Volonté, & Campo, Índices morfométricos a diferentes escalas aplicados al peligro de crecidas en cuencas pequeñas. Cuenca del arroyo San Bernardo, Argentina, 2019)
	Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación.	2014	La densidad de drenaje se asocia con la resistencia al intemperismo, permeabilidad de las rocas en formación, clima y vegetación.	(López, Martínez, & Fernández, 2014)

## **2.6 Análisis de precipitación: Isoyetas**

El método de las isoyetas determina las líneas de igual altura de precipitación. Un mapa de isoyetas de una cuenca es un documento básico dentro de cualquier estudio hidrológico, ya que no solamente permite la cuantificación del valor medio, sino que también presenta de manera gráfica la distribución de la precipitación sobre la zona de estudio. (Mongua, 2016)



## Capítulo 3. Materiales y Métodos

### 3.1 Insumos Cartográficos

Los insumos cartográficos que se utilizaron fueron los siguientes: imágenes satelitales multiespectrales, modelo digital de elevación (DEM), fotografías aéreas y cartografía básica. Dichos insumos fueron suministrados por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

#### 3.1.1 Sistema de Referencia

El sistema de referencia de la zona de estudio, la cartografía base empleada y la cartografía temática elaborada se encuentra en el sistema de coordenadas proyectadas MAGNA Colombia Este. Los parámetros de referencia se especifican en la tabla 11.

*Tabla 11. Parámetros para el sistema de referencia*

<b>Sistema de Coordenadas Proyectadas</b>	<b>MAGNA Colombia Este</b>
<b>Proyección</b>	Transverse Mercator
<b>Falso Este</b>	1000000,00000000
<b>Falso Norte</b>	1000000,00000000
<b>Meridiano Central</b>	-71,07750792
<b>Factor de Escala</b>	1,00000000
<b>Latitud de Origen</b>	4,59620042
<b>Unidad lineal</b>	Metros

### 3.1.2 Imágenes Satelitales Multiespectrales

Para georreferenciar las fotografías aéreas utilizadas, y como base para realizar las correcciones de la cartografía base, se usaron imágenes satelitales multiespectrales (tabla 12)

*Tabla 12. Imágenes satelitales multiespectrales*

<b>Fuente</b>	<b>Nombre Insumo</b>	<b>fecha</b>
Satélite Sentinel 2	20200106T151701_B2348	01/06/2020
Satélite Spot	648-336	3/14/2005
Satélite Spot	648-337	3/14/2005
Satélite Spot	649-336	11/2/2006
Satélite Spot	649-337	1/31/2007
Satélite Spot	649-337	3/9/2005
Satélite Spot	649-337	2/22/2012
Satélite Rapideye	2010-03-22T161051_RE5_1B-NAC_4598032_97175	3/22/2010
Satélite Rapideye	2010-01-31T160151_RE3_1B-NAC_4520301_96655	1/31/2010
Satélite Rapideye	2010-01-31T160152_RE3_1B-NAC_4520148_96656	1/31/2010
Satélite Rapideye	2010-03-25T161333_RE3_1B-NAC_4521368_96709	3/25/2010
Satélite Rapideye	2010-01-13T160325_RE4_1B-NAC_4516818_96559	1/13/2010
Satélite Rapideye	2009-12-29T160851_RE3_1B-NAC_4512434_96438	12/29/2009
Satélite Rapideye	2010-01-01T161323_RE1_1B-NAC_4516151_96490	1/1/2010
Satélite Rapideye	2010-01-11T160353_RE2_1B-NAC_4516159_96550	1/11/2010
Satélite Rapideye	2010-01-13T160339_RE4_1B-NAC_4516486_96560	1/13/2010
Satélite Rapideye	2011-10-31T161426_RE2_1B-NAC_8469599_129181	10/31/2011
Satélite Rapideye	2013-09-20t161742_re1_1b-nac_14383545_171217	9/20/2013
Satélite Rapideye	2013-10-18t162220_re5_1b-nac_14465154_171845	10/18/2013
Satélite Rapideye	2013-11-16T161259_RE1_1B-NAC_14773936_173606	11/16/2013
Satélite Rapideye	2013-11-22T161909_RE2_1B-NAC_14775355_173606	11/22/2013
Satélite Rapideye	2014-01-01T161256_RE4_1B-NAC_15482235_177508	1/1/2014
Satélite Rapideye	2014-01-05T161717_RE3_1B-NAC_15871673_179094	1/5/2014
Satélite Rapideye	2014-02-12T161457_RE3_1B-NAC_15741069_178560	2/12/2014

Fuente: Autor

### 3.1.3 Modelo Digital de Elevación

Para la realización de la morfometría de cuencas y la validación de la cartografía base, a través de SIG, fue necesario la implementación de un Modelo Digital de Elevación (DEM). Se utilizaron dos DEM, que fueron suministrados por los profesionales del convenio, quienes se basaron en las curvas de nivel de la cartografía base suministrada por el IGAC y en el satélite ALOS PALSAR, con una resolución espacial de 12,5 cm a lo largo de la superficie terrestre. En la tabla 13 se muestran las especificaciones.

*Tabla 13. Modelos Digitales de Elevación utilizados*

<b>Fuente</b>	<b>Nombre</b>	<b>Año</b>
<b>Servicio Geológico Colombiano</b>	Alos_BL03_Magna_Este	2020
<b>Geólogo Janer Cantillo</b>	DEM Curvas	2020

Fuente: autor

### 3.1.4 Fotografías Aéreas

Para la interpretación temática de la zona de estudio hecha por los profesionales que hacen parte del convenio, se utilizaron diferentes fotografías aéreas, suministradas por el SGC, como se describe en la tabla 14.

*Tabla 14. Fotografías aéreas utilizadas en el convenio*

<b>No. De Sobre</b>	<b>Vuelo</b>	<b>Escala</b>	<b>Año</b>	<b>Ubicación geográfica</b>	<b>Fotografías</b>
<b>S-34476</b>	C-2324-19-87	1:19000	1987	Chiscas PL-137I-B-D ; 137III-B	255-270
<b>S-25970</b>	C-1386-20-71	1:20000	1971	Toledo y Cubará PL-111IV-C ; 122II-B-D ; 123I-C	100-123
<b>S-25971</b>	C-1386-20-71	1:20000	1971	Cubará PL-123IA-C ; 123IIIA-C	124-139

<b>No. De Sobre</b>	<b>Vuelo</b>	<b>Escala</b>	<b>Año</b>	<b>Ubicación geográfica</b>	<b>Fotografías</b>
<b>S-25972</b>	C-1386-20-71	1:20000	1971	Cubará PL-123ID; 123IIIB-D	139-149
<b>S-25932</b>	C-1386-20-71	1:20000	1971	Cubará PL-123ID ; 123IIIB-D	150-160
<b>S-25962</b>	C-1386-22-71	1:22000	1971	Toledo PL-111IVB- D ; 123I-A	1-13
<b>S-25963</b>	C-1386-25-71	1:25000	1971	Toledo PL- 111IIIB;111IVC-D	14-25
<b>S-25966</b>	C-1386--71	-	1971	Toledo PL-123I-D ; 123III-B	53-59
<b>S-32606</b>	C-2174-25-85	1:25000	1985	Cubará PL-137II-B	43-47
<b>S-32608</b>	C-2174-25-85	1:25000	1985	Chiscas PL-137IIA-C ; 137IV-A	77-94
<b>S-33625</b>	C-2260-28-86	1:28000	1986	Cubará PL-122II-B ; 122I-A ; 123I-C ; 123IIIA-C ; 138I-A	186-199
<b>S-33623</b>	C-2260-28-86	1:28000	1986	Cubará PL-122I-A ; 123I-C ; 123IIIA-C ; 138I-A	141-154
<b>S-33624</b>	C-2260-28-86	1:28000	1986	Cubará PL-123I-C; 123IIIA-C ; 138I-A	155-168
<b>S-34477</b>	C-2324-19-87	1:19000	1987	Chiscas PL-137IB-D ; 137III-B	271-286
<b>S-34491</b>	C-2326-19-86	1:19000	1986	Chiscas PL-137IB-D ; 137III-B	12-32
<b>S-34492</b>	C-2326-19-88	1:19000	1988	Chiscas PL-122IV-C ; 137IIA-C ; 137 IV- A	33-55
<b>S-35962</b>	C-2441-34-91	1:34000	1991	Toledo PL-111IIA-C ; 111IVA-C	212-223
<b>S-35961</b>	C-2441-38-91	1:38000	1991	Toledo PL-111IIB ; 111I-D ; 111III-B ; 111IV-C	197-209
<b>S-36553</b>	C-2503-35-93	1:35000	1993	Cubará y Chiscas PL- 122IV-C ; 137IIIA-C	14-21
<b>S-36556</b>	C-2503-36-93	1:36000	1993	Chiscas PL-122IVA- C ; 137IIA-C ; 137III-B	90-104
<b>S-36554</b>	C-2503-36-93	1:36000	1993	Toledo, Cubará y Chiscas PL-122IIA-C ; 122IVA-C ; 137IIA- C ; 137IVA	31-51
<b>S-36552</b>	C-2503-36-93	1:36000	1993	Cubará PL-122IVD ; 137IID	9-13
<b>S-36555</b>	C-2503-37-93	1:37000	1993	Cubará y Chiscas PL- 122IVA-C ; 137IIA- C ; 137IV-A	52-55
<b>S-36555</b>	C-2503-37-93	1:37000	1993	Toledo PL-111IV-C ; 122IIA	60-75

<b>No. De Sobre</b>	<b>Vuelo</b>	<b>Escala</b>	<b>Año</b>	<b>Ubicación geográfica</b>	<b>Fotografías</b>
<b>S-36769</b>	C-2519-38-93	1:38000	1993	Toledo PL-111IB-D	254-258
<b>S-36889</b>	C-2535-34-94	1:34000	1994	Chiscas PL-137IB-D ; 137III-B	180-188
<b>S-37404</b>	C-2579-42-95	1:42000	1995	Toledo PL-111IB-D	90-94
<b>S-37407</b>	C-2579-44-95	1:44000	1995	Cubará PL-122IVB-D ; 137II-B	150-159
<b>S-37403</b>	C-2579-46-98	1:46000	1998	Toledo PL-111IB-D ; 111IIIB-D	66-72
<b>S-37403</b>	C-2579-46-98	1:46000	1998	Cubará y Chiscas PL-122IIIB-D	79-89
<b>S-37402</b>	C-2579-46-95	1:46000	1995	Cubará y Chiscas PL-122IVA-C ; 137IIA	44-54
<b>S-37402</b>	C-2579-46-95	1:46000	1995	Toledo PL-111IIA-C ; 111IVA-C	60-65
<b>S-37401</b>	C-2579-46-95	1:46000	1995	Toledo, Cubará y Chiscas PL-111IVA-C ; 122IIA-C ; 122IVA-C ; 137IIA	27-43
<b>S-37433</b>	C-2581-45-95	1:45000	1995	Toledo PL-110IIA ; 111IB-D	179-184
<b>S-38147</b>	C-2645-37-98	1:37000	1998	Cubará PL-122IIB ; 123IC-D	1-14
<b>S-1597</b>	M-1397-46-66	1:46000	1966	Toledo y Cubará PL-111IID ; 111IVB-D ; 122IIB-D ; 122IVB-D ; 137IIB	43040-43070
<b>S-5915</b>	R-888-21-82	1:21000	1982	Cubará PL-122IIB-D; 122IVB-D	197-218
<b>S-5914</b>	R-888-23-82	1:23000	1982	Toledo y Cubará PL-122IIB-D; 122IVB-C	173-196
<b>S-8907</b>	R-888-29-82	1:29000	1982	Toledo, Cubará y Chiscas PL-122IIB-D; 122IVB-C	41-55
<b>S-5908</b>	R-888-30-82	1:30000	1982	Toledo PL-122IIB-A	65-70
<b>S-5909</b>	R-888-37-82	1:37000	1982	Toledo y Cubará PL-122IIB-D ; 122IVB	71-80
<b>S-6590</b>	R-945-22-84	1:22000	1984	Toledo PL-111IIIB-D ; 111IVC	120-125
<b>S-6587</b>	R-945-26-84	1:26000	1984	Toledo PL-111ID ; 111IVA	98-108
<b>S-6591</b>	R-945-27-84	1:27000	1984	Toledo PL-111IIID-C ; 122IIB	126-139
<b>S-6586</b>	R-945-27-84	1:27000	1984	Toledo PL-111IB-D ; 111IVA	79-97
<b>S-6589</b>	R-945-28-84	1:28000	1984	Toledo PL-111IVA ; 111IID	114-119
<b>S-6588</b>	R-945-29-84	1:29000	1984	Toledo PL-111IID ; 111IVC	109-113
<b>S-6592</b>	R-945-30-84	1:30000	1984	Toledo y Cubará PL-	140-146

No. De Sobre	Vuelo	Escala	Año	Ubicación geográfica	Fotografías
				122IIB ; 123IA	

Fuente: Autor

### 3.1.6 Datos precipitaciones en zona de estudio

Los datos de precipitación utilizados fueron suministrados y validados por el Servicio Geológico Colombiano, quien a su vez los obtuvo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (tabla 15).

*Tabla 15. Estaciones meteorológicas utilizadas en el convenio*

Código	Nombre	Categoría-Tecnología	Estado	Altitud	Latitud	Longitud	Departamento	Municipio
16015130	ALCALDIA DE HERRAN	CP - AUT	A	240	7,5067222	-72,485361	Nte de Santander	Herrán
16015090	TAMA PARQUE NAL	CP - C	A	2500	7,4244444	-72,442111	Nte de Santander	Herrán
37010010	LABATECA	PM - C	A	1560	7,2980556	-72,500556	Nte de Santander	Labateca
37020020	SAN BERNARDO	PM - C	A	145	7,2266667	-72,441944	Nte de Santander	Toledo
37020040	SANTA MARIA-ABASTOS	PM - C	A	850	7,0936111	-72,2525	Nte de Santander	Toledo
37020030	CAMPO HERMOSO	PM - C	A	1660	7,0988889	-72,300278	Nte de Santander	Toledo
37035010	TUNEBIA	CO - C	A	370	7,0061111	-72,115833	Nte de Santander	Toledo
37045010	SARAVENA	CP - AUT	S	148	6,9463889	-71,890556	Arauca	Saravena
37010050	TABETA	PM - C	A	3168	6,8102778	-72,556111	Santander	Concepción
24035310	CHISCAS	CO - C	A	2350	6,5495278	-72,504722	Boyacá	Chiscas
24035370	EL ESPINO	CP - AUT	A	3510	6,5067222	-72,452667	Boyacá	El Espino
24030290	MACARAVITA	PM - C	A	1856	6,4939444	-72,581361	Santander	Macaravita
24030680	EL PARAMO	CP - AUT	A	2394	6,6533333	-72,590833	Santander	Carcasí
24030320	CARCASI	PM - C	A	224	6,6275	-72,63	Santander	Carcasí
24035380	NEVADO DEL COCUI	CP - AUT	A	4676	6,5091111	-72,314167	Boyacá	Guicán
24035070	GUICAN	CO - C	A	2963	6,4634722	-72,409194	Boyacá	Guicán
16015020	ISER PAMPLONA	AM - C	A	2340	7,3731111	-72,645	Nte de Santander	Pamplona

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2020.

### 3.1.5 Cartografía básica digital

La cartografía básica digital fue suministrada por el SGC, quien la obtuvo del IGAC. El cubrimiento total de la zona de estudio a nivel de proyecto del convenio (Chiscas, Cubará y Toledo), está compuesto por 40 planchas a escala 1:25000. En la tabla 16 y en la figura 8 se muestra su distribución.

*Tabla 16. Índice de planchas*

<b>Índice de planchas</b>			
110IIA	111IB	111IIA	111ID
111IIC	111IID	111BISIC	111IIIB
111IVA	111IVB	111BISIIIA	111IIID
111IVC	111IVD	111BISIIIC	122IIA
122IIB	123IA	122IIC	122IID
123IC	123ID	122IIIB	122IVA
122IVB	123IIIA	123IIIB	122IIID
122IVC	122IVD	123IIIC	123IIID
137IB	137IIA	137IIB	138IA
137ID	137IIC	137IIIB	137IVA

Fuente: Autor

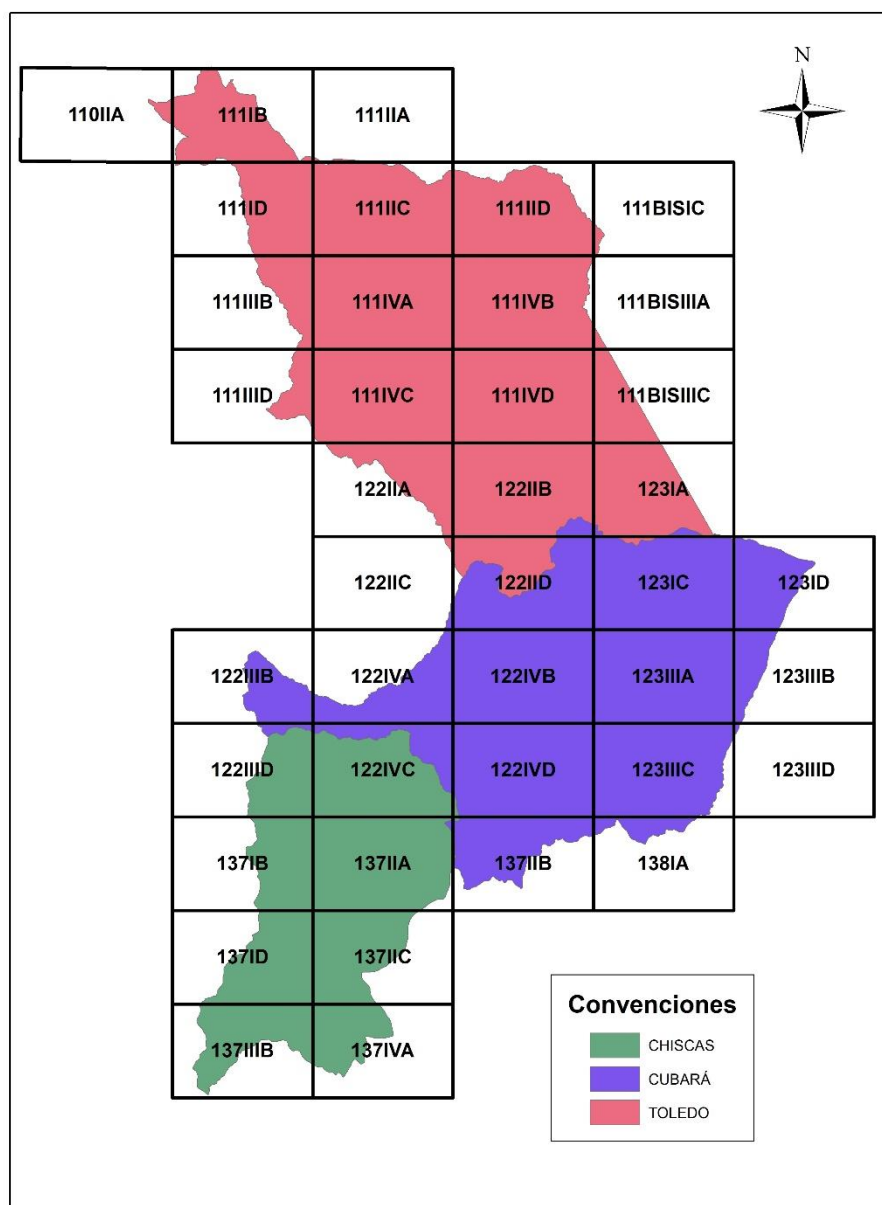


Figura 8. Planchas IGAC en zona de estudio a nivel de proyecto del convenio Fuente:

Autor



### **3.2 Validación de la cartografía base**

Para la validación de la cartografía base, se revisaron las 40 planchas. En ellas se compararon los database que contenían los drenajes y las curvas de nivel de la zona, con el fin de identificar incongruencias entre planchas o áreas con ausencia de información.

#### **3.2.1 Identificación y corrección de errores de continuidad y ausencia de información**

Dicho procedimiento se realizó mediante Sistemas de Información Geográfica (ArcGis) e imágenes satelitales (Tabla 12). Para ello se realizó lo siguiente:

- Se identificaron las zonas que presentan incongruencia entre planchas, y las que tienen ausencia de información.
- Para completar la información faltante en cuanto a curvas de nivel, mediante el ArcGis, se usó la herramienta ArcToolbox-3D Analyst Tools- Raster Surface- contour. Se ingresó el modelo digital de elevación ALOS PALSAR (tabla 11).
- Se generaron curvas de nivel, para completar la ausencia de información editando la capa de curvas ya existente.
- Para completar la información en cuanto a drenajes, se utilizó la imagen satelital como base se realizó la corrección de los drenajes sencillos y dobles.
- Para corregir las incongruencias entre planchas, dadas por desfase, tanto de curvas de nivel como de drenajes, se buscó un punto medio entre ellos, y se trasladó dichas curvas o drenajes, según sea el caso, hasta llegar al punto

medio.

### **3.3 Apoyo en la elaboración del inventario de procesos morfodinámicos.**

Las actividades de apoyo para la realización del inventario de procesos morfodinámicos fueron:

- Georreferenciación de fotografías aéreas: la georreferenciación se realizó utilizando la herramienta Spline en ArcGis. Para ello, se utilizó como base la imagen satelital de Sentinel (tabla 12), y las líneas de vuelo suministradas por el SGC. Para ubicar las imágenes sobre la línea de vuelo, se realizaron un shapefile tipo punto, que contenía los puntos de control de cada imagen sobre la línea de vuelo, y un shapefile tipo polígono, donde se dimensionaba el área abarcada por la fotografía aérea en la imagen satelital base. Posteriormente, se ubicaron un mínimo de 10 puntos de control, para poder aplicar la herramienta Spline. Una vez aplicada dicha herramienta, se realizó una revisión para asegurar que el proceso se haya realizado correctamente. Luego se exportaron dichos puntos y se guardan cambios en la imagen.
- Edición de fotografías aéreas: con el fin de mejorar la calidad de las imágenes, usando el software Adobe Photoshop 2020 se mejoró el contraste y los matices de las fotografías aéreas.
- Recopilación de información sobre movimientos en masa, en la zona de estudio, investigando en artículos, periódicos, en el EOT, entre otros.

### **3.4 Caracterización morfométrica de las subcuencas hidrográficas de la vertiente oriental de la cuenca del río Cubugón.**

Para determinar las subcuencas potenciales a generar movimientos en masa tipo flujo se determinaron los siguientes parámetros morfométricos, haciendo uso de la herramienta SIG: área, perímetro, longitud de la cuenca, longitud del cauce principal, altura máxima, altura mínima, ancho promedio, pendiente media de las laderas, pendiente del cauce principal, orden de drenaje, frecuencia de drenaje, constante de compacidad, factor de forma, índice de alargamiento, densidad de drenaje, constante de canal, relación de bifurcación, relación de elongación, relación de textura de drenaje, índice de asimetría, coeficiente de torrencialidad, índice de Melton, tiempo de concentración, factor de asimetría y curva hipsométrica. La delimitación de la cuenca y las subcuencas, y la generación de parámetros físicos como área, perímetro, pendiente, longitud de la cuenca, longitud del cauce, fueron hallados a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG). También se realizó un análisis espacial de las precipitaciones, a través de SIG, utilizando la herramienta de interpolación Kriging.

### **3.5 Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa tipo flujo**

La zonificación susceptibilidad se obtiene a partir de la cartografía de subunidades indicativas, como se mencionó anteriormente, Existen geoformas que pueden constituir posibles zonas de aporte de material durante el tránsito del flujo, las cuales a criterio del

experto pueden también ser mapeadas como zonas de susceptibilidad. Para este trabajo se tuvo en cuenta lo expuesto por la guía metodológica para la zonificación de amenaza a escala 1:25000, y el criterio de expertos que forman parte del convenio.

## Capítulo 4. Resultados

### 4.1 Validación de la cartografía base

La cartografía base suministrada por el IGAC, fue sometida a una minuciosa revisión. En dicha revisión, se encontraron desfases en las curvas de nivel y los drenajes, y ausencia de información en las planchas que se mencionan en la tabla 14.

*Tabla 17. Planchas IGAC en zona de estudio que presentan errores*

111IVB	111IVD	111IVC	122IIA	122IIB
123IA	122IIC	122IID	123IC	123ID
122IIIB	122IVA	122IVB	123IIIA	123IIIB
122IIID	122IVC	122IVD	123IIIC	123IIID
137IIA	137IIB	138IA	137IIC	137IVA

Fuente: Autor

Dichos errores fueron corregidos, aplicando la metodología descrita anteriormente. Se realizó un informe de los errores encontrados y un informe con las correcciones realizadas.

### 4.2 Inventario de procesos morfodinámicos

En la tabla 16 se muestra la recopilación de información de movimientos en masa presentados en la zona de estudio.

Tabla 18. Recopilación movimientos en masa en zona de estudio

Fecha	Ubicación	Tipo	Cantidad	Fuente
<b>Diciembre 2016</b>	Vía Güicán de la Sierra y Cubará	Deslizamiento	1	(RCN Radio, 2016)
<b>Abril 2017</b>	Río Cobaría, 41 km del casco urbano de Cubará	Deslizamiento	1	(Redacción Negocios y Economía, 2017)
<b>Junio 2015</b>	Vía de la Soberanía, Cubará	Deslizamiento	1	(W Radio, 2015)
-	Cubará	No especifica	4	(Cuy, 2015)

Fuente: Autor

La información de la tabla 17, fue añadida a la base de datos del Servicio Geológico Colombiano, como insumo para la generación del catálogo de movimientos en masa del proyecto. En base al análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales, los profesionales que hacen parte del convenio, realizaron el inventario geomorfológico de movimientos en masa para los 3 municipios que abarca el proyecto (Toledo, Cubará y Chiscas). En el apéndice se encuentra la tabla A1 que muestra los movimientos en masa tipo flujo, encontrados dentro de la vertiente oriental de la cuenca del río Cubugón, en el municipio de Cubará. En el área de estudio, se registraron 239 movimientos en masa tipo flujo.

#### 4.3 Caracterización morfométrica de las subcuencas del río Cubugón

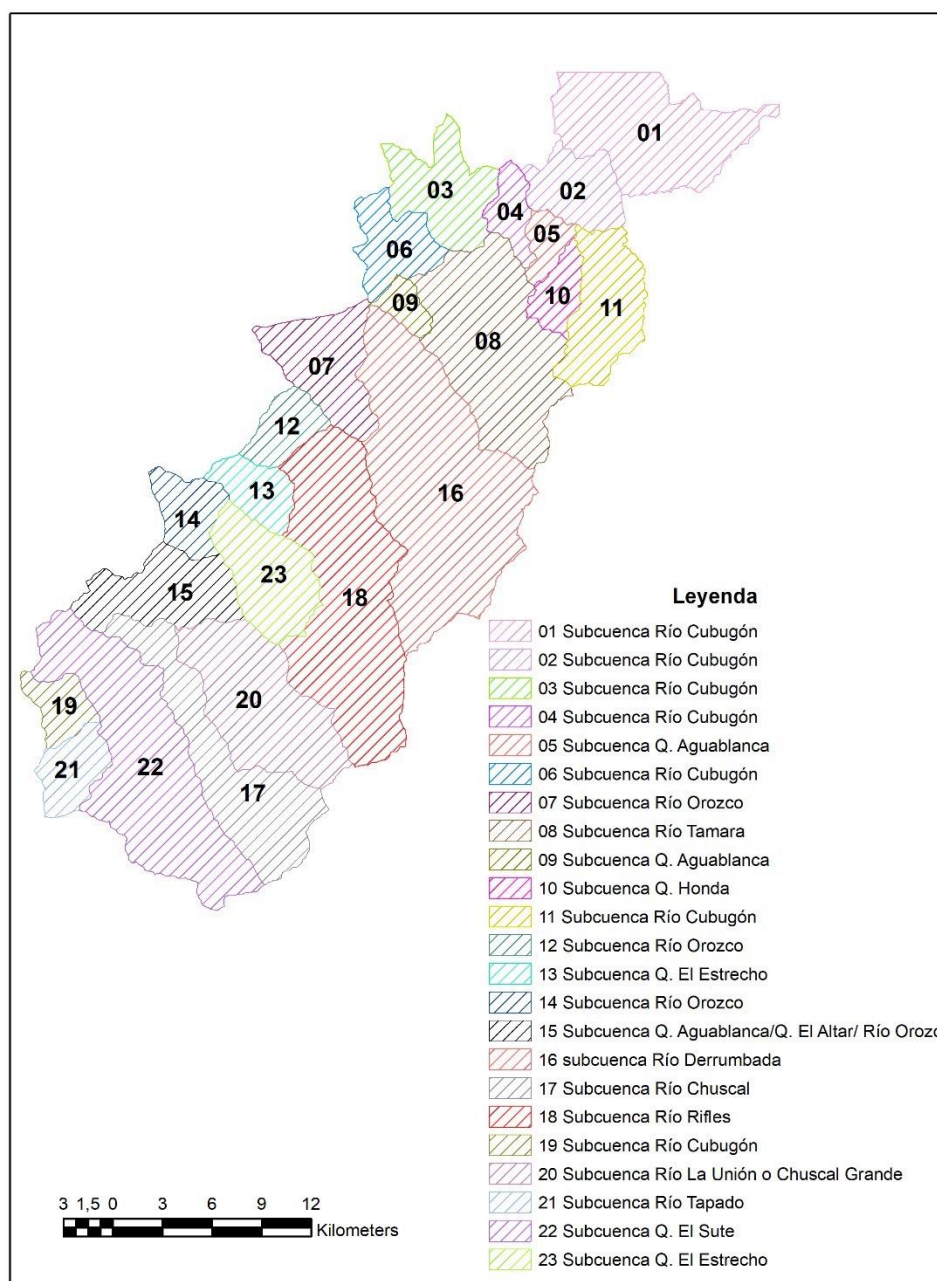
La delimitación de subcuencas hidrográficas de la vertiente oriental de la cuenca del río Cubugón, dio como resultado 23 subcuencas (tabla 17).

*Tabla 19. Subcuencas hidrográficas de la vertiente oriental cuenca Cubugón*

<b>Código Subcuenca</b>	<b>Cauce principal</b>	<b>Ubicación</b>
<b>01</b>	Río Cubugón	Toledo y Cubará
<b>02</b>	Río Cubugón	Cubará
<b>03</b>	Río Cubugón	Cubará
<b>04</b>	Río Cubugón	Cubará
<b>05</b>	Quebrada Aguablanca	Cubará
<b>06</b>	Río Cubugón	Cubará
<b>07</b>	Río Orozco	Cubará
<b>08</b>	Río Tamara	Cubará
<b>09</b>	Quebrada Aguablanca	Cubará
<b>10</b>	Quebrada Honda	Cubará
<b>11</b>	Río Cubugón	Cubará
<b>12</b>	Río Orozco	Cubará
<b>13</b>	Quebrada el Estrecho	Chiscas
<b>14</b>	Río Orozco	Chiscas
<b>15</b>	Q. Aguablanca, Q. El Altar, Río Orozco	Chiscas
<b>16</b>	Río Derrumbada	Cubará
<b>17</b>	Río Chuscal	Chiscas
<b>18</b>	Río Rifles	Cubará y Chiscas
<b>19</b>	Río Cubugón	Chiscas
<b>20</b>	Río La Unión o Chuscal Grande	Chiscas
<b>21</b>	Río Tapado	Chiscas
<b>22</b>	Quebrada el Sute	Chiscas
<b>23</b>	Quebrada el Estrecho	Chiscas

Fuente: Autor

En la figura 9 se muestra la distribución de las subcuencas, en la Cuenca de la vertiente oriental del río Cubugón y en la figura 10 se muestran los drenajes mayores a 1 y las alturas del Modelo Digital de Elevación (DEM).



*Figura 9. Delimitación de subcuencas de la vertiente oriental de la cuenca del río*

*Cubugón Fuente: autor*



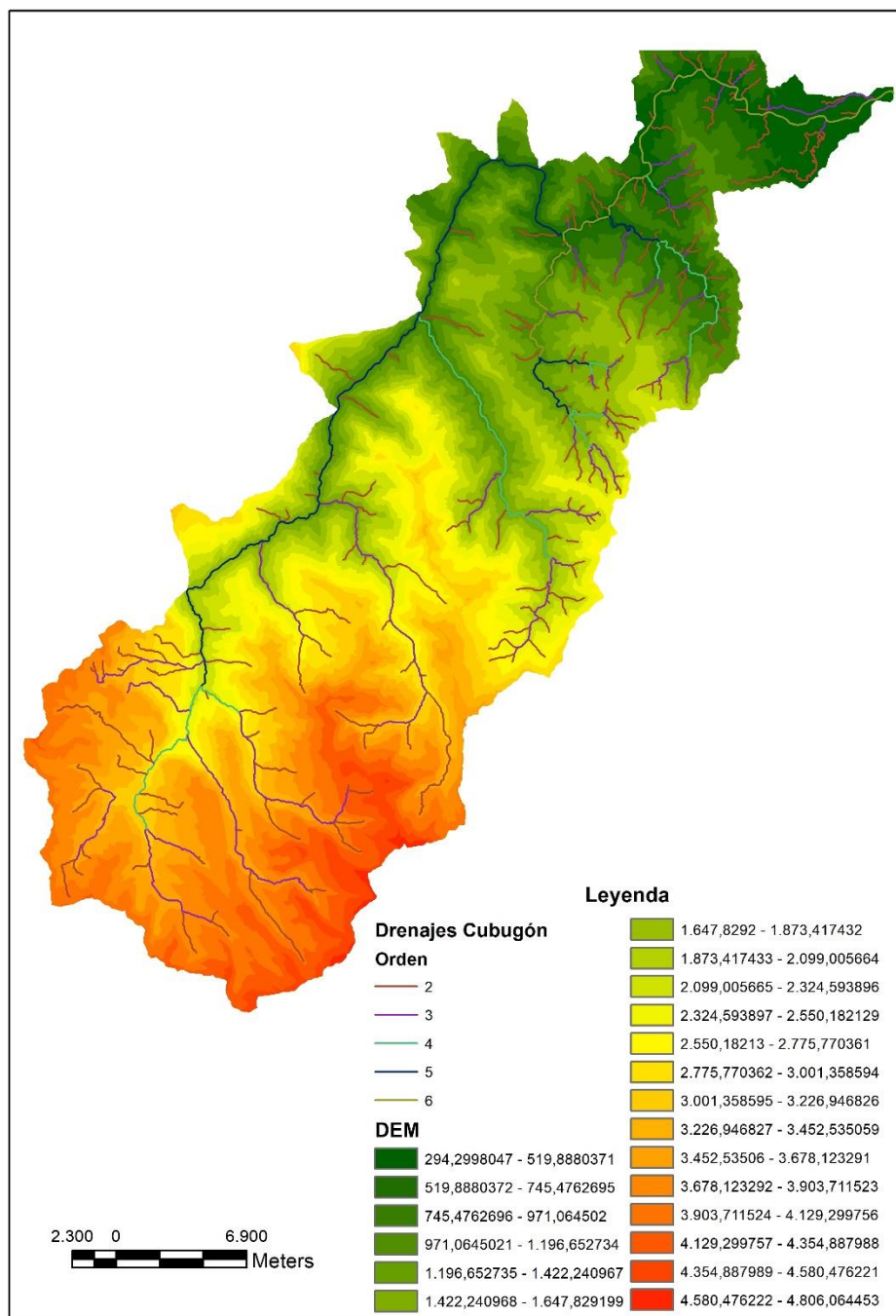


Figura 10. Red de drenaje y DEM Cuenca Vertiente Oriental Cubugón Fuente: Autor

Teniendo en cuenta la ubicación de las subcuencas (tabla 19), a continuación, se presentan (Tabla 20) los resultados obtenidos de los parámetros morfométricos, para las subcuencas ubicadas en el municipio de Cubará. También se muestran las curvas hipsométricas para dichas subcuencas (figura 10, 11 y 12)

Tabla 20. Parámetros morfométricos cuenca Cubugón vertiente oriental y subcuencas

Parámetros\Subcuencas	C.Cub	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	16	18
<b>Parámetros físicos</b>															
Area (A)- Km <sup>2</sup>	902,77	62,58	22,48	31,93	10,80	8,63	21,08	33,29	77,77	6,97	11,36	34,83	14,48	124,00	102,43
Area Margen Derecho Km	705,31	39,11	10,23	16,34	3,46	5,89	12,77	14,79	45,45	4,79	6,97	20,61	7,32	50,05	48,15
Area Margen Izquierdo Km	197,46	23,48	12,24	15,59	7,33	2,73	8,31	18,50	32,33	2,19	4,39	14,22	7,15	73,95	54,28
Perímetro (P)- km	381,55	42,54	22,51	32,58	17,60	15,11	24,83	28,69	45,99	12,40	17,24	30,76	16,63	59,79	57,45
Longitud de la Cuenca (L) Km	59,06	13,25	6,08	5,78	2,87	4,36	5,08	8,49	14,41	4,05	5,82	8,97	5,11	20,79	18,77
Longitud Cauce (Lc) Km	92,03	18,20	8,60	11,30	3,39	5,45	5,56	12,37	19,43	4,18	7,25	13,79	5,43	26,61	23,30
Ancho promedio (B) Km	15,29	4,73	3,70	5,52	3,76	1,98	4,15	3,92	5,40	1,72	1,95	3,88	2,83	5,96	5,46
Hmáx: Cota máxima en Km	4,81	1,20	1,27	1,90	1,37	1,50	2,01	3,10	3,10	2,01	2,02	2,37	2,92	3,75	4,81
Hmin: Cota mínima en Km	0,29	0,29	0,38	0,49	0,45	0,46	0,73	0,87	0,87	0,88	0,54	0,54	1,03	0,88	1,28
<b>Parámetros de forma</b>															
Radio de elongación (Re)	0,57	0,67	0,88	1,10	1,29	0,76	1,02	0,77	0,69	0,74	0,65	0,74	0,84	0,60	0,61
Constante de Compacidad (Kc)	3,58	1,52	1,34	1,63	1,51	1,45	1,53	1,40	1,47	1,33	1,44	1,47	1,23	1,51	1,60
Factor de forma (Ff)	0,26	0,36	0,61	0,95	1,31	0,45	0,82	0,46	0,37	0,43	0,34	0,43	0,55	0,29	0,29
Índice de alargamiento (Ia)	3,86	2,80	1,64	1,05	0,76	2,20	1,22	2,16	2,67	2,35	2,98	2,31	1,80	3,49	3,44
<b>Parámetros de relieve</b>															
Pendiente media cauce principal (%)	4,17	5,63	10,06	2,08	16,73	15,73	2,82	12,75	10,63	12,42	18,14	12,72	4,66	9,07	12,51
Pendiente media cauce principal (°)	2,39	3,22	5,74	1,19	9,50	8,94	1,62	7,27	6,07	7,08	10,28	7,25	2,67	5,19	7,13
Pendiente media en laderas (%)	55,59	29,71	50,01	70,89	50,49	47,44	69,35	78,02	54,79	59,76	52,83	52,77	85,25	61,69	65,22
Pendiente media en laderas (°)	29,07	16,55	26,57	35,33	26,79	25,38	34,74	37,96	28,72	30,86	27,85	27,82	40,45	31,67	33,11
Elevación media Km	2,55	0,75	0,83	1,20	0,91	0,98	1,37	1,98	1,98	1,45	1,28	1,45	1,98	2,32	3,04
Índice de asimetría	3,57	1,67	1,20	1,05	2,12	2,16	1,54	1,25	1,41	2,19	1,59	1,45	1,02	1,48	1,13
Factor de asimetría	78,13	62,48	45,53	51,17	32,07	68,33	60,56	44,44	58,44	68,65	61,32	59,18	50,58	40,36	47,01

Parámetros\Subcuencas	C.Cub	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	16	18
<b>Parámetros de red hídrica</b>															
Orden de drenaje	6	4	4	3	3	4	3	3	6	2	4	4	3	4	3
Densidad de drenaje (D) <b>medio</b>	0,25	0,63	0,78	0,37	0,90	0,62	0,26	0,34	0,37	0,61	0,63	0,68	0,50	0,33	0,37
Frecuencia de Orden de drenaje (Fs) <b>medio</b>	0,38	1,05	1,84	0,41	1,51	1,13	0,21	0,31	0,75	0,65	1,47	1,28	0,81	0,42	0,44
Relación de textura de drenaje (Rt) <b>medio</b>	0,89	1,55	1,83	0,40	0,93	0,65	0,17	0,36	1,27	0,36	0,97	1,45	0,70	0,87	0,78
Tiempo de concentración (Tc) <b>medio</b>	6,27	3,32	1,71	3,38	0,85	1,09	2,10	1,99	2,86	1,01	1,24	2,13	1,68	3,69	3,07
<b>Parámetros de Torrencialidad</b>															
Coeficiente de Torrencialidad (Ct)	1,14	2,11	3,83	0,63	2,32	2,32	0,33	0,48	2,26	0,72	2,99	2,58	1,24	0,85	0,66
Índice de Melton (IM)	0,15	0,11	0,19	0,25	0,28	0,35	0,28	0,39	0,25	0,42	0,44	0,31	0,50	0,26	0,35
Relación de Bifurcación (Rb) <b>medio</b>	1,76	1,62	2,37	4,84	1,55	2,00	1,88	1,57	1,74	1,25	2,32	1,73	2,01	1,76	1,62

Fuente: autor

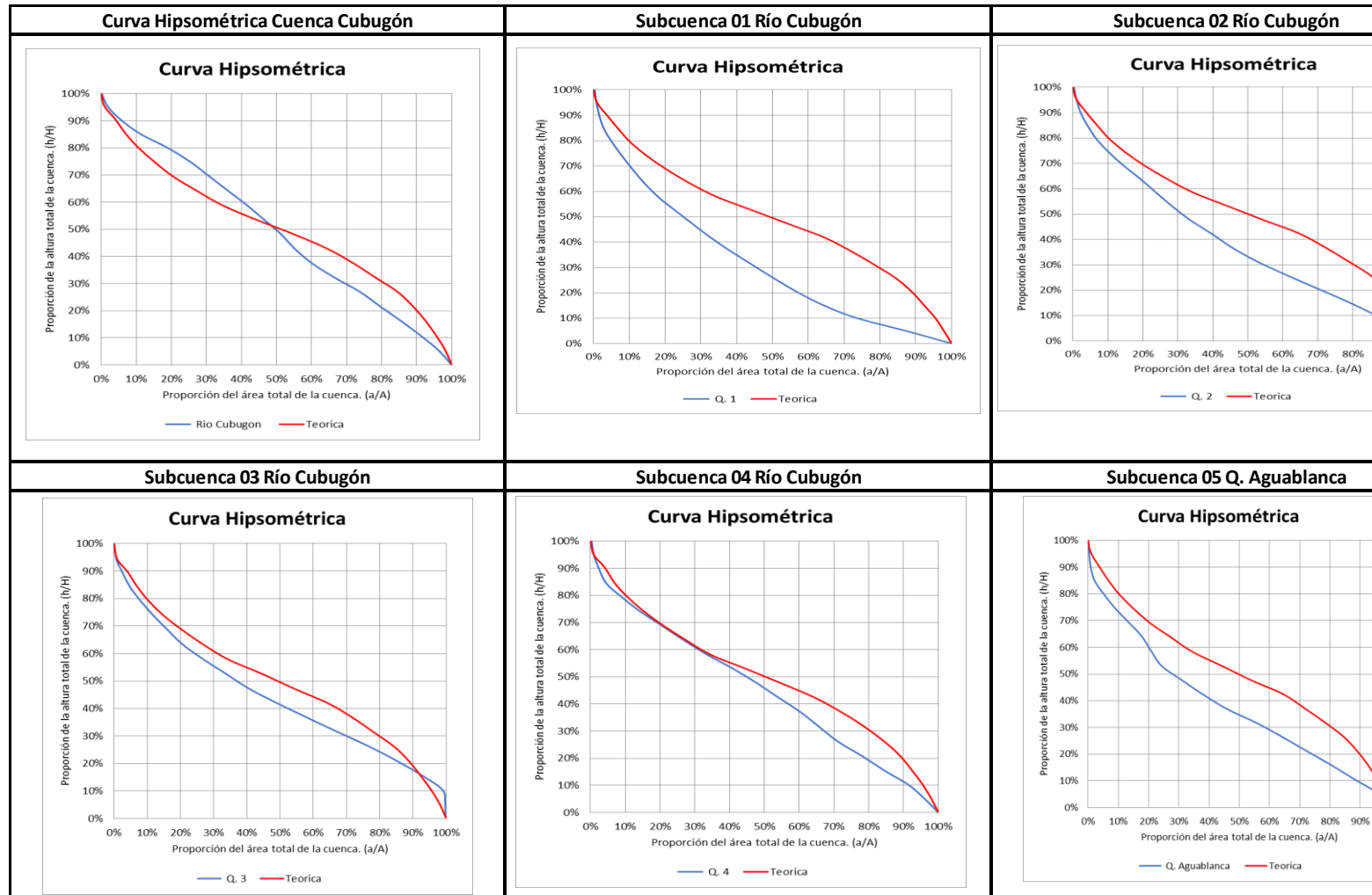


Figura 11. Curvas hipsométricas Cuenca Cubugón y Subcuencas 01-05 Fuente: Autor

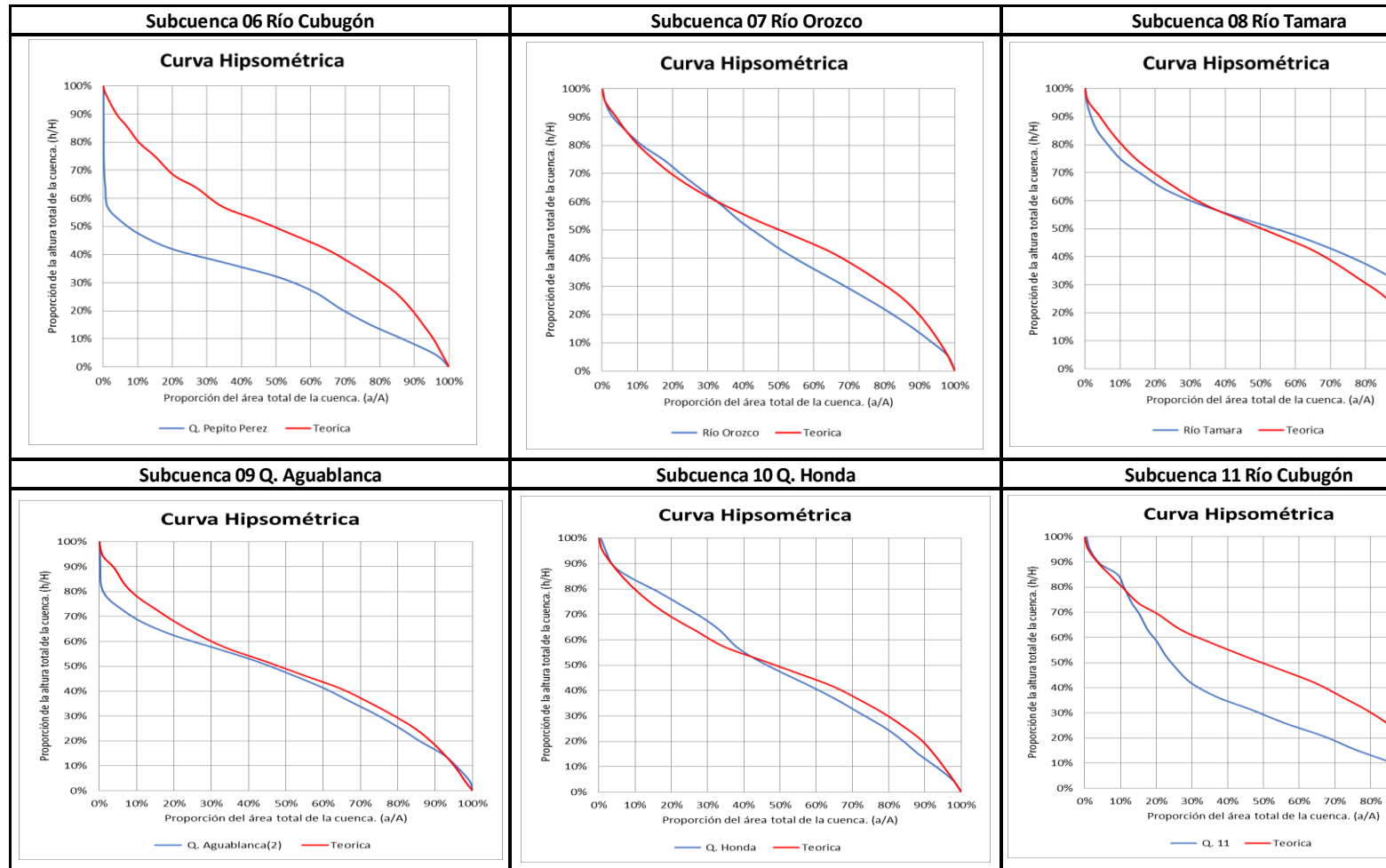


Figura 12. Curvas hipsométricas subcuencas 06-11 Fuente: Autor

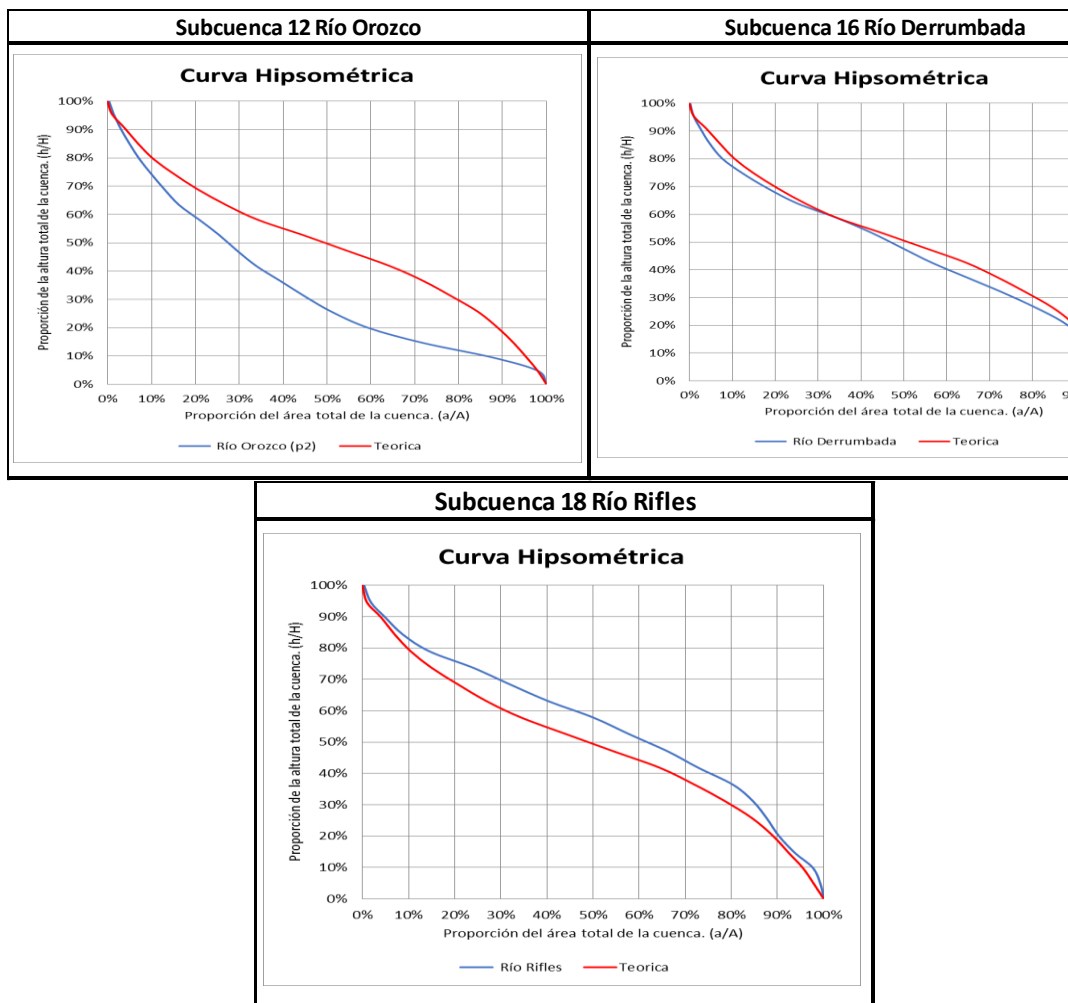


Figura 13. Curvas hipsométricas subcuencas 12, 16 y 18 Fuente: Autor

En las figuras 11 se muestran las curvas hipsométricas para las subcuencas 01-05 y para la Cuenca del río Cubugón (vertiente oriental). En ella se ve cómo la línea azul, que presenta la curva hipsométrica de cada subcuenca, muestra que las subcuencas 01 y 02 están en fase de vejez, mientras que la cuenca del río Cubugón, y las subcuencas 03-05 están en fase madura. En la figura 12, que muestra las subcuencas 06-11, las cuencas 06 y 11 están en fase de vejez, mientras que las cuencas 07-10 están en fase madura. Por

último, la figura 12 muestra que la subcuenca 12 está en estado de vejez, mientras que las subcuencas 16 y 18 están en fase madura.

Como parte del análisis de morfometría, se realizó un análisis espacial de las precipitaciones de la vertiente oriental de la cuenca del río Cubugón. Para ello se usaron los datos de precipitación media, suministrados por el SGC de las siguientes estaciones: Santa Maria-Abastos, Campo Hermoso, Tunebia, Tabeta, Chiscas, El Páramo y Carcasi. Las isoyetas obtenidas se muestran en la figura 14. En dicha figura se muestra cómo las altas precipitaciones se concentran al norte de la cuenca de estudio



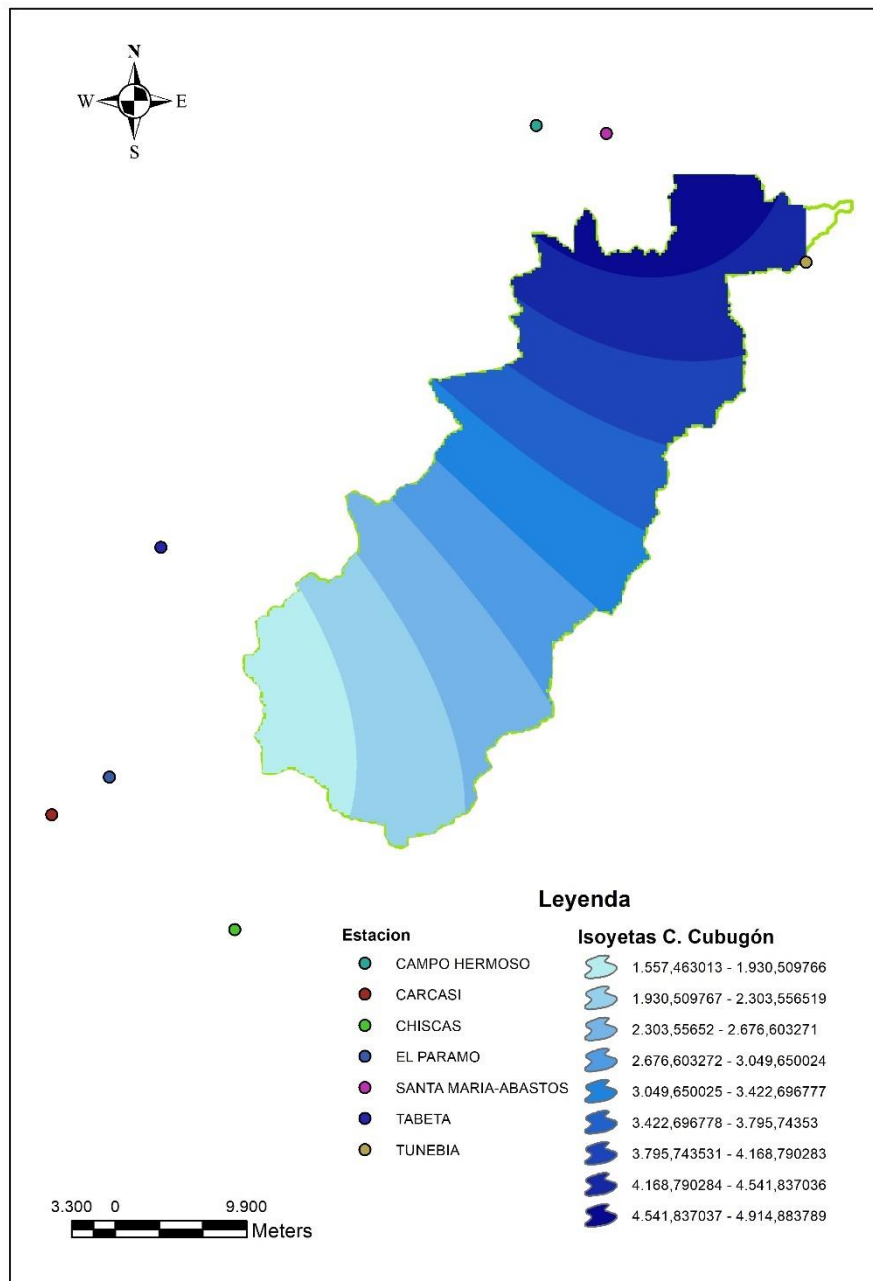


Figura 14. Isoyetas en la vertiente oriental de la cuenca del río Cubugón Fuente:

Autor

#### **4.4 Zonificación de Susceptibilidad por Movimientos en Masa Tipo Flujo**

Aplicando la metodología propuesta por la guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25000 (2017), se realizó la zonificación de subunidades geomorfológicas y la categorización de susceptibilidad (tabla 2), con la geomorfología suministrada por los profesionales que forman parte del convenio. La zonificación por dicho método se muestra en la figura 15.

De dicha zonificación, podemos deducir, que éste no es el método idóneo para realizar la zonificación, porque, a pesar de no presentar las subunidades geomorfológicas del método, en el área de estudio, el inventario geomorfológico y la recolección de información constan que es una zona que presenta movimientos en masa tipo flujo, de manera continua. Por ello, con el conocimiento previo adquirido de la zona, a través del inventario geomorfológico, y con la guía de expertos en el tema, que forman parte del equipo de trabajo del convenio, se propuso una zonificación, por parte de los profesionales del proyecto, en base a un análisis multiparámetro, donde se tendrán en cuenta los resultados obtenidos de los índices de torrencialidad ( $R_b$ ,  $C_t$ ,  $IM$ ), el constante de compacidad y la relación de elongación, la pendiente cerca al cauce, los movimientos en masa tipo flujo que se han presentado y los movimientos en masa que han ocurrido, en un radio de 50 m cerca al cauce y los rasgos geomorfológicos, y las geoformas indicativas asociadas a eventos fluviotorrenciales.

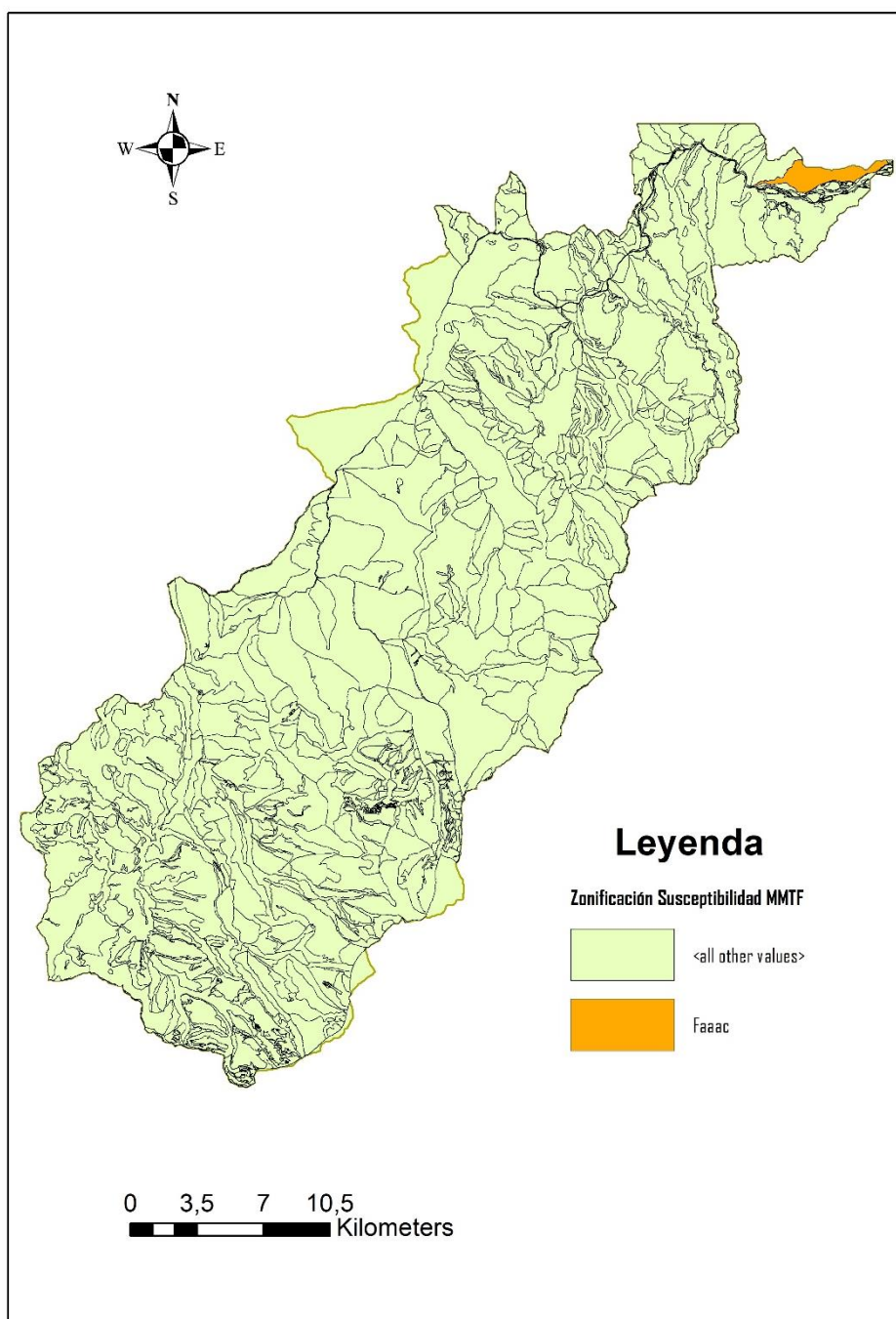
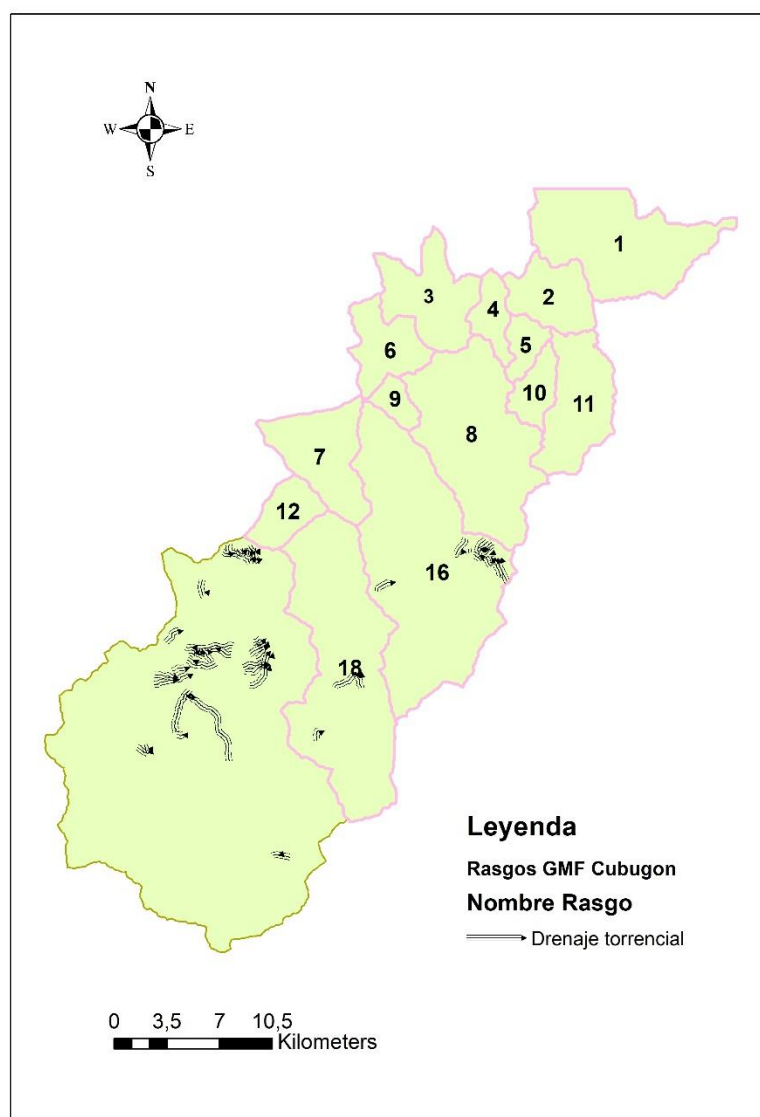


Figura 15. Zonificación Susceptibilidad Metodología Guía SGC (2017)

A continuación, se presenta la figura 16 que muestra los rasgos geomorfológicos de la cuenca. Las subcuencas que presentan el rasgo geomorfológico de drenaje torrencial. Esas subcuencas son la 16 y 18



*Figura 16. Rasgos GMF, Cuenca Cubugón Fuente: Autor*

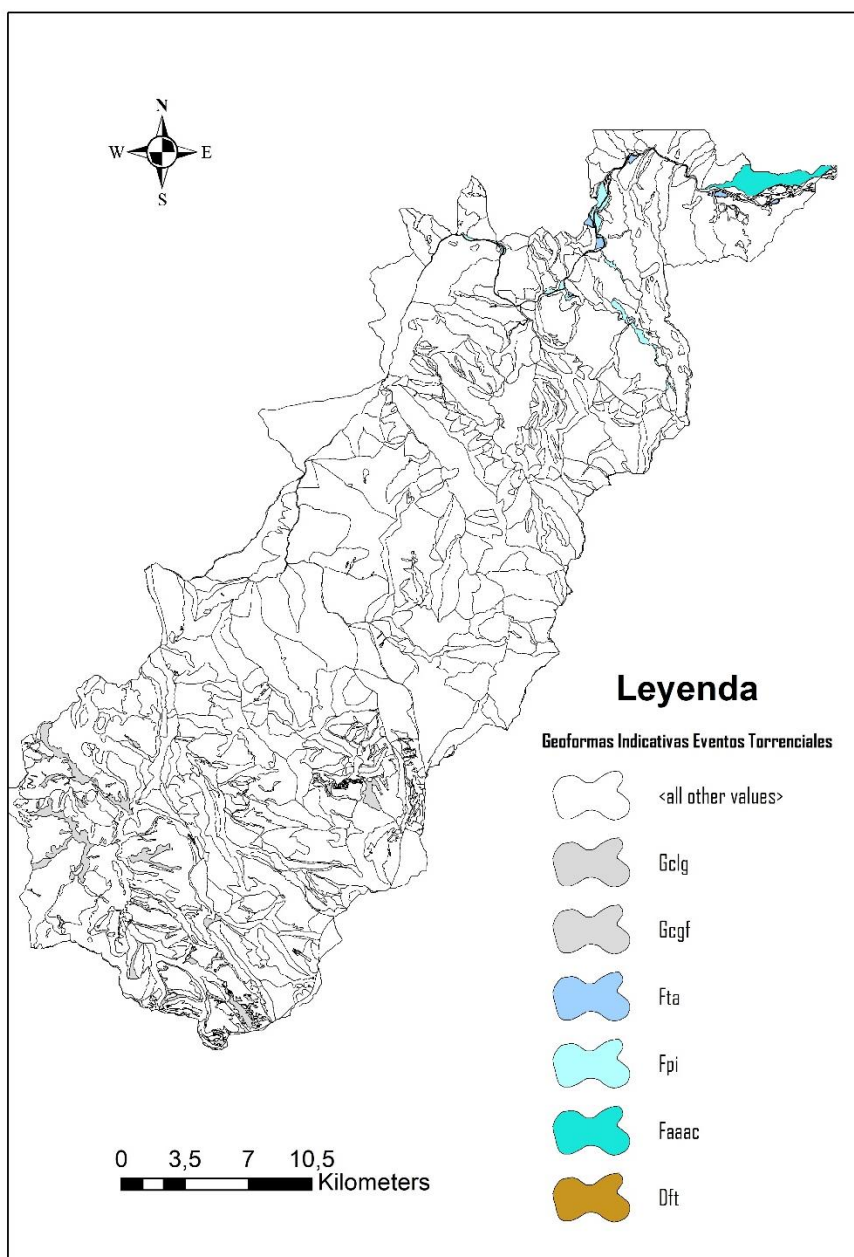


Figura 17. Geomorfias indicativas de eventos torrenciales, Cuenca Cubugón, vertiente oriental. Fuente: Autor

En la figura 17, las subcuencas que presentan geoformas indicativas son: **01 Subcuenca Río cubugón, 02 Subcuenca Río Cubugón, 03 Subcuenca río Cubugón, 03 Subcuenca río Cubugón, 04 Subcuenca Río Cubugón , 05 Subcuenca Q. Aguablanca, 11 Subcuenca Río Cubugón y 18, Subcuenca Río Rifles**

Teniendo los rasgos geomorfológicos, las geoformas indicativas, el inventario geomorfológico de movimientos en masa tipo flujo, el inventario geomorfológico de movimientos en masa a 50m a cada lado del cauce y los parámetros morfométricos de torrencialidad, se procede a realizar la zonificación a través de un análisis de multicriterio. Para ello, se tomó los valores de los parámetros morfométricos de las cuencas y, haciendo uso del software estadístico SPSS, se estimó su significancia, como se observa en la tabla.

*Tabla 21. Significancia de parámetros*

Prueba de igualdad de medias de grupos					
	Lambda de Wilks	F	gl1	gl2	Sig.
Pendientemediacauceprincipal	,418	7,642	2	11	,008
Pendientemediacauceprincipal_A	,419	7,619	2	11	,008
RelacióndeBifurcaciónRbmedio	,540	4,678	2	11	,034
Índice dealargamiento la	,669	2,727	2	11	,109
RadiodeelongaciónRe	,694	2,431	2	11	,134
FrecuenciadeOrdendedrenajeFsmedio	,696	2,399	2	11	,137
CoeficientedeTorrencialidadCt	,702	2,335	2	11	,143
FactordeformaFf	,735	1,979	2	11	,184
RelacióndetexturadedrenajeRtmedio	,745	1,879	2	11	,199
DensidaddedrenajeDmedio	,774	1,603	2	11	,245
AnchopromedioBKm	,784	1,515	2	11	,262
ConstantedeCompacidadKc	,787	1,484	2	11	,269

Prueba de igualdad de medias de grupos					
	Lambda de Wilks	F	gl1	gl2	Sig.
Índice de Melton IM	,851	,966	2	11	,411
Tiempo de concentración Tc medio	,873	,802	2	11	,473
Pendiente media en laderas	,881	,740	2	11	,499
Pendiente media en laderas_A	,883	,729	2	11	,504
Longitud de la Cuenca L Km	,903	,593	2	11	,570
Área A Km <sup>2</sup>	,918	,494	2	11	,623
Área Margen Izquierdo Km	,922	,468	2	11	,638
Área Margen Derecho Km	,922	,467	2	11	,639
Orden de drenaje	,923	,461	2	11	,643
Longitud Cauce Lc Km	,926	,439	2	11	,655
Perímetro P km	,937	,369	2	11	,700
Índice de asimetría	,942	,337	2	11	,721
Factor de asimetría	,945	,320	2	11	,733
Elevación media Km	,955	,257	2	11	,778
H <sub>min</sub> Cotamínima en Km	,956	,254	2	11	,780
H <sub>máx</sub> Cotamáxima en Km	,956	,252	2	11	,782

Fuente: SPSS

Con base en la tabla anterior, se le asignaron pesos a cada variable, teniendo como principal factor determinante, el inventario geomorfológico. (tabla 22)

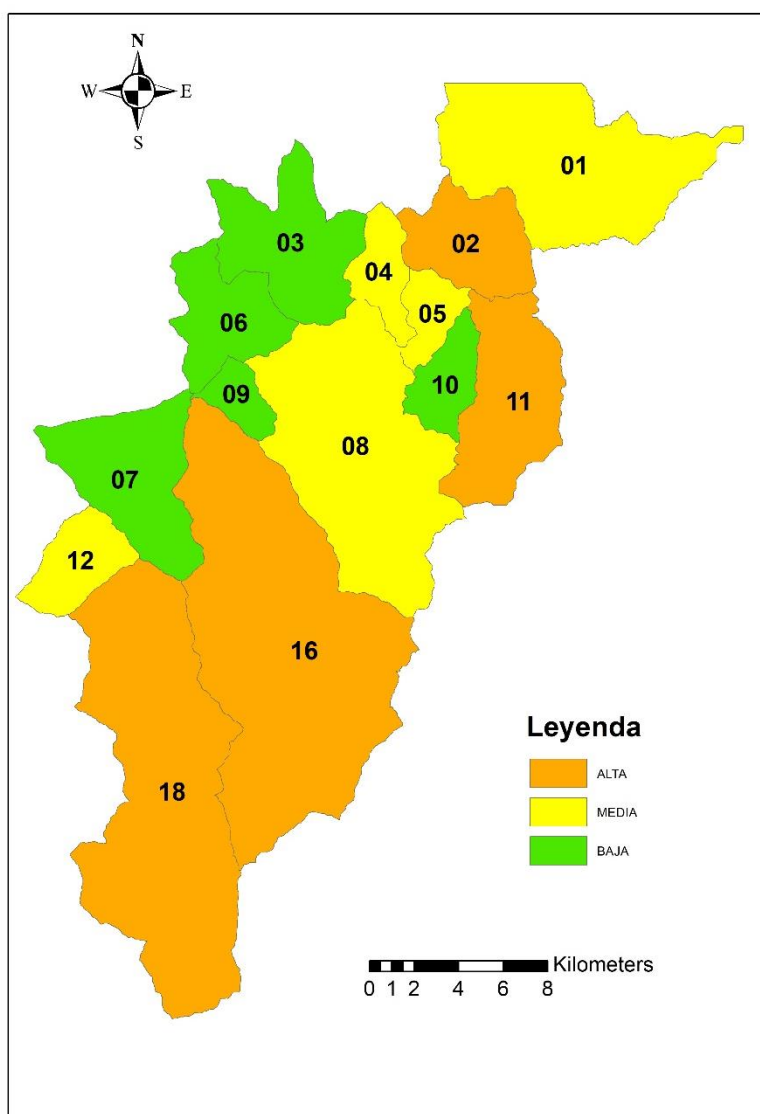
Tabla 22. Análisis multicriterio cuenca Cubugón, vertiente oriental, Cubará

SUBCUENCA	PENDIENTE PROMEDIO DE LA CUENCA			CARACTERIZACION MORFOMETRICA					RASGOS Y GEOMORFOLOGIA INDICATIVA DE TORRENCIALIDAD	MOVIMIENTOS EN MASA TIPO FLUJO	susceptibilidad																							
				FORMA		INDICES DE TORRENCIALIDAD																												
	PORCENTAJE	GRADOS	categoria Pend	Re	Kc	IM	Rb	ct																										
01 Subcuenca Río Cubugón	29,71	16,5466845	1	2	2	1	1	3	2	3	2,3	2,3	media																					
02 Subcuenca Río Cubugón	50,01	26,5696347	1	3	3	1	1	3	2	3	2,5	3,0	alta																					
03 Subcuenca Río Cubugón	70,89	35,3328277	2	1	2	1	1	1	2	2	1,6	1,6	baja																					
04 Subcuenca Río Cubugón	50,49	26,7892101	1	1	2	1	1	3	2	3	2,1	2,1	media																					
05 Subcuenca Q. Aguablanca	47,44	25,3796627	1	1	3	2	3	3	2	3	2,5	2,5	media																					
06 Subcuenca Río Cubugón	69,35	34,7413082	2	1	2	1	1	1	1	2	1,5	1,6	baja																					
07 Subcuenca Río Orozco	78,02	37,9613548	3	1	3	2	1	1	1	3	2,0	2,0	baja																					
08 Subcuenca Río Tamara	54,79	28,7183348	2	2	3	1	1	3	1	3	2,3	2,3	media																					
09 Subcuenca Q. Aguablanca	59,76	30,8625393	2	1	3	2	1	1	1	3	2,0	2,0	baja																					
10 Subcuenca Q. Honda	52,83	28	1	2	3	2	1	3	1	1	1,6	1,6	baja																					
11 Subcuenca Río Cubugón	52,77	27,8206108	1	1	3	2	1	3	2	3	2,3	3,0	alta																					
12 Subcuenca Río Orozco	85,25	40,4475919	3	1	3	2	1	2	1	3	2,2	2,2	media																					
16 Subcuenca Río Derrumbada	61,69	31,6704358	2	2	2	1	1	2	2	3	2,2	3,0	alta																					
18 Subcuenca Río Rifles	65,22	33,1123906	2	2	2	2	1	1	3	3	2,3	3,0	alta																					
<table border="1"> <tr> <td>Pesos</td> <td>5</td> <td>15</td> <td>10</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>Porcentajes</td> <td>0,05</td> <td>0,15</td> <td>0,10</td> <td>0,05</td> <td>0,10</td> <td>0,10</td> <td>0,10</td> <td>0,10</td> <td>0,10</td> <td>0,35</td> </tr> </table>													Pesos	5	15	10	5	10	10	10	10	10	35	Porcentajes	0,05	0,15	0,10	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,35
Pesos	5	15	10	5	10	10	10	10	10	35																								
Porcentajes	0,05	0,15	0,10	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,35																								

Fuente: Autor



A cada parámetro de la tabla 22, se le asignó un valor, teniendo en cuenta, en cuanto a parámetros morfométricos, los rangos propuestos por la literatura para cuencas torrenciales. Los valores referentes a los movimientos en masa, se asignó un valor dependiendo si habían sido encontrados o no en la zona de estudio. De los valores obtenidos al final de la tabla, se logró una clasificación, que fue usada para la zonificación de susceptibilidad, como se observa en la figura 18.



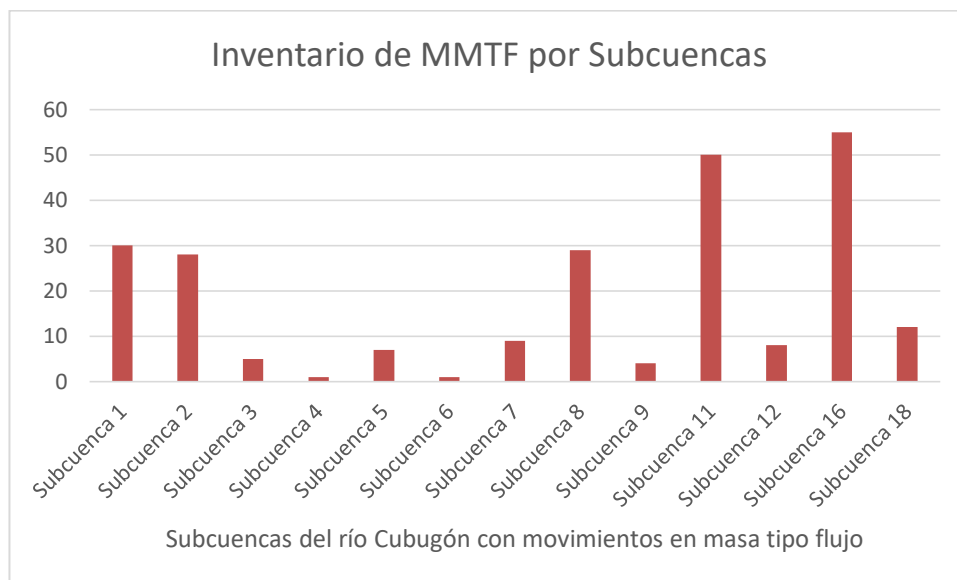
*Figura 18. Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa tipo flujo, en la vertiente oriental de la cuenca Cubugón, Cubará, empleando el metodo de multicriterio*

Fuente: Autor

## Capítulo 5. Análisis de Resultados

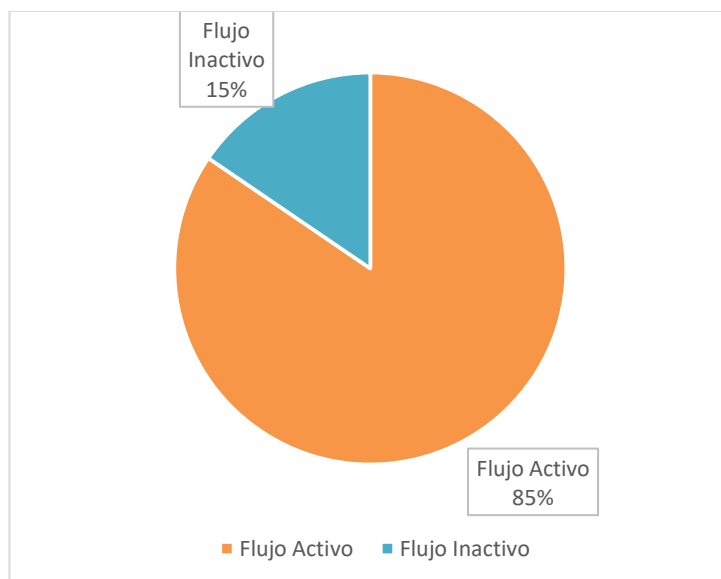
### 5.1 Análisis inventario geomorfológico

De la tabla A1, podemos distribuir los movimientos en masa tipo flujo en las subcuencas que conforman la cuenca del río Cubugón. (Gráfico 1)



*Gráfico 1. Inventario de Movimientos en Masa Tipo Flujo por Subcuencas*

Del gráfico 1, podemos observar cómo las subcuencas 11 y 16 presentan el mayor número de movimientos en masa tipo flujo (50 y 55 respectivamente). Le siguen las subcuencas 1, 8 y 2 (30, 29 y 28). Pero entre dichos movimientos en masa, se clasifican en activos e inactivos. En el gráfico 2 se observa el porcentaje de cada tipo de flujo encontrado en el inventario geomorfológico.



*Gráfico 2. Porcentaje de tipos de flujo*

En el gráfico 2 podemos observar cómo el 85% de los movimientos en masa tipo flujo registrados en la zona de estudio, siguen activos. Este dato es relevante para la planeación del riesgo por parte de las entidades gubernamentales.

En la tabla 21 se describen los tipos de flujos encontrados y su cantidad.

*Tabla 23. Tipos de Flujos presentados en las subcuencas*

Tipo de Flujo	Cantidad
Avalancha de detritos	57
Flujo de detritos	109
Flujo de lodo	5
Flujo de tierra	37
Avenida torrencial	3
No definido	28

Fuente: Autor

El mayor tipo de flujo encontrado es el flujo de detritos, seguido por la avalancha de detritos y el flujo de tierra. Es de resaltar, que de los tipos de flujo, 3 de ellos son del tipo Avenida Torrencial, y se presentó uno en la subcuenca 02 y 2 en las subcuenca 11.

## 5.2 Análisis de parámetros de torrencialidad en las subcuencas

Para realizar el análisis de torrencialidad, se tendrán en cuenta los siguientes parámetros: **Coefficiente de torrencialidad, Índice de Melton y Relación de Bifurcación**. Otros parámetros a considerar son **Relación de Elongación y Constante de Compacidad**.

### 5.2.1 Coeficiente de Torrencialidad

En la tabla 22 se muestran los valores de torrencialidad de cada subcuenca.

*Tabla 24. Coeficientes de torrencialidad en las subcuencas*

Subcuenca	Coefficiente de Torrencialidad
<b>C.Cub</b>	<b>1,14</b>
<b>01</b>	<b>2,11</b>
<b>02</b>	3,83
<b>03</b>	0,63
<b>04</b>	<b>2,32</b>
<b>05</b>	<b>2,32</b>
<b>06</b>	0,33
<b>07</b>	0,48
<b>08</b>	<b>2,26</b>
<b>09</b>	0,72
<b>10</b>	<b>2,99</b>
<b>11</b>	<b>2,58</b>

<b>12</b>	<b>1,24</b>
<b>16</b>	<b>0,85</b>
<b>18</b>	0,66

Fuente: Autor

Las cuencas susceptibles a generar avenidas torrenciales, el coeficiente de torrencialidad oscila entre 0,76 y 3,85 (Servicio Geológico Colombiano, 2020). Los valores en rojo de la tabla 22, son aquellos que presenta una alta susceptibilidad a presentar eventos fluvio torrenciales. La cuenca de la vertiente oriental del río Cubugón, presenta alta torrencialidad, de acuerdo al resultado obtenido. Las subcuencas que presentan alta torrencialidad, de acuerdo al resultado obtenido por el coeficiente de torrencialidad son: **01 Subcuenca Río Cubugón, 04 Subcuenca Río Cubugón, 05 Subcuenca Q. Aguablanca, 08 Subcuenca Río Tamara, 10 Subcuenca Q. Honda, 11 Subcuenca Río Cubugón, 12 Subcuenca Río Orozco, 16 Subcuenca Río Derrumbada**. Estas subcuencas presentan mayor cantidad de cauces de orden 1. Debido a que los cauces de orden 1 son de génesis erosiva (Camino M. A., y otros, 2018), se puede deducir que estas subcuencas presentan alta susceptibilidad a la erosión y alta torrencialidad.

### 5.2.2 Índice de melton

El rango de índice de melton a usar para el siguiente análisis, es el propuesto por Welsh y Davies, que considera una cuenca susceptible a flujo torrencial si el índice de melton da un valor superior a 0,3. (Gómez, 2019). En la tabla 23 se muestran los valores obtenidos por cada subcuenca

Tabla 25. Índice de melton para las subcuencas

Subcuenca	Índice de Melton
C.Cub	0,15
01	0,11
02	0,19
03	0,25
04	0,28
05	0,35
06	0,28
07	0,39
08	0,25
09	0,42
10	0,44
11	0,31
12	0,50
16	0,26
18	0,35

Fuente: Autor

Según los resultados obtenidos de la tabla 23, las subcuencas susceptibles a flujos torrenciales (valores en rojo) son: **05 Subcuenca Q. Aguablanca, 07 Subcuenca Río Orozco, 09 Subcuenca Q. Aguablanca, 10 Subcuenca Q. Honda, 11 Subcuenca Río Cubugón, 12 Subcuenca Río Orozco y 18 Río Rifles**. Comparando los resultados obtenidos con el coeficiente de torrencialidad, las subcuencas que coinciden, para ambos parámetros, como susceptibles a flujos torrenciales son: **05 Subcuenca Q. Aguablanca, 10 Subcuenca Q. Honda, 11 Subcuenca Río Cubugón y 12 Subcuenca Río Orozco**.

### 5.2.3 Relación de bifurcación

En la tabla 24 se muestra la relación de bifurcación obtenida en cada subcuenca. Para evaluar este parámetro se tendrá en cuenta lo propuesto pro Strahler, donde las cuencas que presentan torrencialidad presentan una relación de bifurcación mayor a 4. (Méndez, Pacheco, Cartaya, Marcano, & León, 2015)

*Tabla 26. Relación de Bifurcación de las subcuencas*

Subcuenca	Relación de Bifurcación
<b>C.Cub</b>	1,76
<b>01</b>	1,62
<b>02</b>	2,37
<b>03</b>	<b>4,84</b>
<b>04</b>	1,55
<b>05</b>	2,00
<b>06</b>	1,88
<b>07</b>	1,57
<b>08</b>	1,74
<b>09</b>	1,25
<b>10</b>	2,32
<b>11</b>	1,73
<b>12</b>	2,01
<b>16</b>	1,76
<b>18</b>	1,62

Fuente: Autor

De la tabla 24, vemos que el único resultado que dio como positivo para cuencas susceptibles a flujos torrenciales fue el la **Subcuenca 03 Río Cubugón**. Los resultados obtenidos de este parámetro, presentan una discrepancia de los resultados obtenidos



anteriormente por los otros parámetros. La mayoría de valores de las demás cuencas dieron cercanos a 2.

#### 5.2.4 Relación de Elongación (Re) y Constante de Compacidad (Kc)

Los resultados de los parámetros de Relación de elongación y Constante de compacidad, se muestran en la tabla 25.

*Tabla 27. Resultados Relación de elongación (Re) y Constante de compacidad (Kc) en las subcuencas*

Subcuenca	Re	Kc
<b>C.Cub</b>	0,57	3,58
<b>01</b>	0,67	1,52
<b>02</b>	0,88	1,34
<b>03</b>	1,10	1,63
<b>04</b>	1,29	1,51
<b>05</b>	0,76	1,45
<b>06</b>	1,02	1,53
<b>07</b>	0,77	1,40
<b>08</b>	0,69	1,47
<b>09</b>	0,74	1,33
<b>10</b>	0,65	1,44
<b>11</b>	0,74	1,47
<b>12</b>	0,84	1,23
<b>16</b>	0,60	1,51
<b>18</b>	0,61	1,60

Fuente: Autor

Para evaluar la Relación de Elongación, para este trabajo, se toman los rangos propuestos por Keller y Pinter, donde una cuenca es susceptible a torrencialidad, si presenta un valor de Re mayor a 0,7. Según este parámetro, las subcuencas que presentan

susceptibles a torrencialidad son: **02 Subcuenca Río Cubugón, 03 Subcuenca Río Cubugón, 04 Subcuenca Río Cubugón, 05 Subcuenca Q. Aguablanca, 06 Subcuenca Río Cubugón, 07 Subcuenca Río Orozco, 09 Subcuenca Q. Aguablanca, 11 Subcuenca Río Cubugón y 12 Subcuenca Río Orozco.**

En cuanto al parámetro de constante de compacidad, para su análisis, se tomarán los rangos propuestos por Camino (2018), donde las cuencas con valores entre 1-1,5 son cuencas que tienden a ser más redondeadas. Entre más redondeada sea la cuenca, indica la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento (Méndez & Manchego, 2019) y riesgo de crecidas a la salida (López, Martínez, & Fernández, 2014).

De los resultados obtenidos, las subcuencas susceptibles a torrencialidad, por el Kc son: **02 Subcuenca Río Cubugón, 05 Subcuenca Q. Aguablanca, 07 Subcuenca Río Orozco, 08 Subcuenca Río Tamara, 09 Subcuenca Q. Aguablanca, 10 Subcuenca Q. Honda, 11 Subcuenca Río Cubugón y 12 Subcuenca Río Orozco**

#### **5.4 Análisis resultados de zonificación de susceptibilidad**

La metodología de la guía del SGC, no mostró un resultado congruente con lo obtenido en el inventario y por los parámetros morfométricos. Ello llevo a reconsiderar la aplicación, de otro método, que incluyera otros parámetros, que, para este estudio, dan un mayor peso para realizar la zonificación. Cabe resaltar que la guía metodológica da flexibilidad para realizar otro tipo de metodología, partiendo del conocimiento de la zona de estudio y el criterio de expertos.

## Capítulo 6. Conclusiones

El insumo más importante para realizar la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa, es el inventario, porque es la información de la zona de estudio, y ninguna metodología puede contradecir, si se tiene la certeza de que ya han ocurrido eventos de ese tipo en la zona de estudio.

Los parámetros morfométricos, son un análisis importante, que se relaciona con los demás insumos para la zonificación. Cabe resaltar, que la guía especifica que la zona de estudio, para zonificar a escala 1:25000, es la cuenca hidrográfica, por ende, sus características morfométricas estarán ampliamente ligadas a los sucesos que allí ocurran. Se hace necesario, para la zonificación de movimientos en masa, tener en cuenta los parámetros morfométricos de la cuenca. No se puede tomar el valor de un solo parámetro, como definitivo, es necesario contrarrestarlo con los valores obtenidos por los demás parámetros, y con el inventario, y la información secundaria obtenida.

Aunque la verificación en campo es importante para el proceso, la utilización de sensores remotos permite obtener información de eventos pasados, tras el análisis hecho por expertos en el tema, y ha sido una fuente valiosa de información para el desarrollo de este trabajo.

La metodología de criterio multivariable permite integrar otros aspectos, que no se consideran en la metodología estándar, y se hace necesario se siga profundizando en ello, para dar más herramientas de zonificación, para la gestión del riesgo.

## Referencias

- Alcaldía de Cubará. (2001). *Esquema de Ordenamiento Territorial, Cubará Boyacá*.  
Cubará: Alcaldía de Cubará. Obtenido de [https://alcaldia-cubara-en-boyaca.micolombiadigital.gov.co/sites/alcaldia-cubara-en-boyaca/content/files/000337/16809\\_doc-eot-completo.pdf](https://alcaldia-cubara-en-boyaca.micolombiadigital.gov.co/sites/alcaldia-cubara-en-boyaca/content/files/000337/16809_doc-eot-completo.pdf)
- Alcaldía de San José de Cúcuta. (22 de Diciembre de 2017). *Alcaldía Municipal de San José de Cúcuta*. Obtenido de Alcaldía Municipal de San José de Cúcuta:  
[https://cucutanortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/cucutanortedesantander/content/files/000076/3778\\_producto-23\\_sintesis-de-diagnostico.pdf](https://cucutanortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/cucutanortedesantander/content/files/000076/3778_producto-23_sintesis-de-diagnostico.pdf)
- Burgos, J., Carpio, M., & Philco, E. (11 de Diciembre de 2013). *VII Evento internacional La Universidad en el siglo XXI*. Obtenido de VII Evento internacional La Universidad en el siglo XXI:  
<http://sigloxxi.espam.edu.ec/Ponencias/V/ponencias/47.pdf>
- Busnelli, J., & Horta, L. (2014). Morfometría de cuencas Montanas y Metamorfosis Fluvial, Tucumán. *Asociación Geológica Argentina*, 11-20. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/317537833\\_Morfometria\\_de\\_cuencas\\_montanas\\_y\\_metamorfosis\\_fluvial\\_Tucuman](https://www.researchgate.net/publication/317537833_Morfometria_de_cuencas_montanas_y_metamorfosis_fluvial_Tucuman)
- Camino, M. A., Bó, M. J., Cionchi, J. L., Armentia, A. L., Río, J. L., & Marco, S. G. (Junio de 2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente

sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista*

*Universitaria de Geografía*, 73-97. Obtenido de

<http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/pdf/reuge/v27n1/v27n1a05.pdf>

Camino, M., Bó, M., Cionchi, J., Del Río, J., López de Armentia, A., & De Marco, S.

(2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 22-41. Obtenido de

<https://www.redalyc.org/jatsRepo/3832/383257036005/383257036005.pdf>

Campo, A., Aldalur, N., & Fernández, S. (2012). Morfometría fluvial aplicada a una

cuenca urbana en Ingeniero White, República Argentina. *Investigaciones*

*Geográficas*, 7-17. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n77/n77a2.pdf>

Congreso de la República. (18 de Julio de 1997). Ley 388 de 1997. *Por la cual se*

*modifica la Ley 9 de 1989 y la ley 3 de 1991 y se dictan otras disposiciones.*

Bogotá, Bogotá, DC, Colombia: Congreso de la República. Obtenido de

[https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma\\_pdf.php?i=339](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=339)

Congreso de la República. (24 de Abril de 2012). Ley 1523 de 2012. *Por el cual se*

*adopta la política nacional para la gestión del riesgo de desastres y se establece el sistema nacional de gestión del riesgo y se dictan otras disposiciones.* Bogotá,

Bogotá, DC, Colombia: Congreso de la República. Obtenido de

<http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/ley152324042012.pdf>

Consorcio Río Garagoa. (13 de Diciembre de 2017). *Corporación Autónoma*

*Regional*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional:

<https://www.car.gov.co/uploads/files/5c1a9fcf99956.pdf>

Corantioquia. (14 de Enero de 2019). *Corantioquia*. Obtenido de Corantioquia:

<http://www.corantioquia.gov.co/SiteAssets/PDF/Tematicas/Agua/POMCA->

[AURRA/2.7.Caract\\_Gest\\_Riesgos.pdf](http://www.corantioquia.gov.co/SiteAssets/PDF/Tematicas/Agua/POMCA-AURRA/2.7.Caract_Gest_Riesgos.pdf)

Corpoamazonía. (15 de Junio de 2018). *Corpoamazonía*. Obtenido de Corpoamazonía:

[http://www.corpoamazonia.gov.co/images/2018/consultas/hacha/CAP\\_7.pdf](http://www.corpoamazonia.gov.co/images/2018/consultas/hacha/CAP_7.pdf)

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (17 de Septiembre de 2018).

*Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca*. Obtenido de Corporación

Autónoma Regional del Valle del Cauca:

[https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes\\_y\\_Programas/Planes\\_de\\_Orden](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Orden)

[acion\\_y\\_Manejo\\_de\\_Cuencas\\_Hidrografica/La%20Vieja%20-](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Orden)

[%20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/7\\_CapituloI\\_Diagnostico\\_](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Orden)

[Morfometria.pdf](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Orden)

Cuy, J. (2015). *Revisión histórica de movimientos en masa en el departamento de*

*Boyacá, en el marco del proyecto de "investigación aplicada a la modelación del territorio a partir del análisis geomorfológico del departamento de Boyacá"*

*(Tesis de pregrado)*. Sogamoso: Universidad Pedagógica y Tecnológica de

Colombia. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1925/1/TGT->

[628.pdf](https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1925/1/TGT-)

ESE Hospital Especial de Cubará. (27 de Febrero de 2016). *Gobernación de*

*Boyacá*. Obtenido de Gobernación de Boyacá:

[https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/asis2016/asis\\_municipal\\_2016\\_cubara.pdf](https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/asis2016/asis_municipal_2016_cubara.pdf)

Esper, M. (2012). Morphometric characterization of the Carrizal basin applied to the evaluation of flash floods hazard, San Juan, Argentina. *Quaternary International*, 74-79. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1040618211002849>

Esper, M., Perucca, L., & Vargas, N. (2020). Spatial and temporal analysis of debris flow occurrence in three adjacent basins of the western margin of Grande River: Quebrada de Humahuaca, Jujuy, Argentina. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 4-24.

Ferreira, S., & Prado, G. (29 de Marzo de 2019). *Universidad Autónoma Juan Misael Saracho*. Obtenido de Universidad Autónoma Juan Misael Saracho:

[http://www.uajms.edu.bo/revistas/wp-content/uploads/2019/03/gc-iyarakua\\_n1-art-1.pdf](http://www.uajms.edu.bo/revistas/wp-content/uploads/2019/03/gc-iyarakua_n1-art-1.pdf)

Gaspari, F., Rodríguez, A., Sinesterra, G., Denegri, G., Delgado, M., & Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS*, 144-158. Obtenido de <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/download/476/505/>

- Gil, V. (2009). *Hidrogeomorfología de la cuenca alta del Rio Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas. (Tesis de doctorado)*. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur. Obtenido de [http://200.49.237.216/bitstream/123456789/2069/1/TESIS\\_GIL.pdf](http://200.49.237.216/bitstream/123456789/2069/1/TESIS_GIL.pdf)
- Gil, V., Gentili, J., & Campo, A. (2009). Influencia de la litología en la variación de los parámetros morfométricos, sistema de Ventania, Argentina. *Papeles de Geografía*, 55-68. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40712345006>
- Gil, V., Volonté, A., & Campo, A. (2019). Índices morfométricos a diferentes escalas aplicados al peligro de crecidas en cuencas pequeñas. Cuenca del arroyo San Bernardo, Argentina. *Revista Brasileira de Geomorfología*, 811-824. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/337013669\\_INDICES\\_MORFOMETRICOS\\_A\\_DIFERENTES\\_ESCALAS\\_APLICADOS\\_AL\\_PELIGRO\\_DE\\_CRECIDAS\\_EN\\_CUENCAS\\_PEQUENAS\\_CUENCA\\_DEL\\_ARROYO\\_SAN\\_BERNARDO\\_ARGENTINA](https://www.researchgate.net/publication/337013669_INDICES_MORFOMETRICOS_A_DIFERENTES_ESCALAS_APLICADOS_AL_PELIGRO_DE_CRECIDAS_EN_CUENCAS_PEQUENAS_CUENCA_DEL_ARROYO_SAN_BERNARDO_ARGENTINA)
- Gómez, S. (2019). *Aplicabilidad del método del índice de Susceptibilidad Compuesto para la identificación de cuencas susceptibles a la ocurrencia de flujos torrenciales. (Tesis de Maestría)*. Bogotá, D.C: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/74773/1/1032430270.2019.pdf>



- González, A. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del Río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *A.G.E*, 311-329. Obtenido de <http://age.ieg.csic.es/boletin/38/17%20IBISATE%20311-329.pdf>
- González, M., Pinyol, J., Camafort, M., Vilaplana, J., & Oller, P. (2013). *El mapa para la prevención de riesgos geológicos de Cataluña 1:25.000: Aplicación de una metodología a escala regional para la evaluación de la susceptibilidad a generar flujos torrenciales*. Barcelona: VII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Obtenido de <https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:fFNQer8I95wJ:scholar.google.com/+EL+MAPA+PARA+LA+PREVENCION+DE+RIESGOS+GEOL%C3%93GICOS+DE+CATALU%C3%91A+1:25+000:+APLICACION+DE+UNA+METODOLOGIA+A+ESCALA+REGIONAL+PARA+LA+EVALUACION+>
- López, A., Martínez, M., & Fernández, D. (2014). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Tecnología y Ciencias del agua*, 121-137. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v6n1/v6n1a7.pdf>
- Lux, B. (2016). *Conceptos Básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. Ciudad de Guatemala: Repositorio del Sistema Bibliotecario Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de Repositorio del Sistema Bibliotecario Universidad de San Carlos de Guatemala:

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>

Matauco, A. I. (19 de Julio de 2004). *Análisis Morfométrico de la Cuenca*. Obtenido de Análisis Morfométrico de la Cuenca:

<http://age.ieg.csic.es/boletin/38/17%20IBISATE%20311-329.pdf>

Méndez, L., & Manchego, S. (2019). *Causas de las avenidas torrenciales e inundaciones rápidas en el departamento del Huila en los municipios Algeciras, Campoalegre, Neiva y Rivera en Febrero de 2017 (Tesis de pregrado)*. Medellín: Escuela de ciencias Universidad EAFIT.

Méndez, W., & Marcucci, E. (2006). Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 29-55. Obtenido de <file:///C:/Users/APERE/Downloads/2006.AnlisisMorfomtricoMicrocuencaQuebradaCurucutEstadoVargas.pdf>

Méndez, W., Pacheco, H., Cartaya, S., Marcano, A., & León, C. (2015). Caracterización hidroclimatológica y morfométrica de la cuenca del río San Julián (estado Vargas, Venezuela): aportes para la evaluación de la amenaza hidrogeomorfológica. *Revista Colombiana de Geografía*, 133-156. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v24n2/v24n2a8.pdf>

Ministerio de Agroindustria. (1 de Junio de 2018). *Caracterización de Cuencas*.

Obtenido de Caracterización de Cuencas:

[https://inta.gob.ar/sites/default/files/caracterizacion\\_de\\_cuencas\\_0.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/caracterizacion_de_cuencas_0.pdf)

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (20 de Septiembre de 2007).

Decreto 3600 de 2007. *Por el cual se reglamentan las disposiciones de las leyes 99 de 1993 y 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de acutaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo*. Bogotá, Bogotá, DC, Colombia: Ministerio de Ambiente,

Vivienda y Desarrollo Territorial. Obtenido de

[https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec\\_3600\\_2007.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec_3600_2007.pdf)

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (26 de Mayo de 2015). Decreto 1077 de

2015. *Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*. Bogotá, Bogotá, DC, Colombia: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Obtenido de

<https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/0/DUR+Sector+Trabajo+Actualizado+a+15+de+abril++de+2016.pdf/a32b1dcf-7a4e-8a37-ac16-c121928719c8>

Mongua, M. (9 de Junio de 2016). *SlideShare*. Obtenido de SlideShare:

<https://es.slideshare.net/NatashaMartin10/hidrologia-calculo-de-precipitacion>

- Montoya, L., Silva, S., & González, J. (2009). Evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. Caso de aplicación a la Quebrada Doña María. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 11-29.
- Moretto, B., Gentili, J., & Campo, A. (2019). Análisis morfométrico multiescalar en la cuenca alta del arroyo Sauce Corto (Buenos Aires, Argentina). *Huellas*, 149-167. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7172796>
- Muñoz, Á., & Carvajal, J. (2018). *Diseño de bioingeniería para la mitigación de riesgo de remoción en masa en la microcuenca de la quebrada Cay. (Monografía de Pregrado)*. Ibagué: Universidad de Ibagué. Obtenido de <https://repositorio.unibague.edu.co/bitstream/20.500.12313/736/1/Trabajo%20de%20grado%20.pdf>
- Presidente de la República. (13 de Mayo de 1998). Decreto 879 de 1998. *Por el cual se reglamentan las disposiciones referentes al ordenamiento del territorio municipal y distrital y a los planes de ordenamiento territorial*. Bogotá, Bogotá, DC, Colombia: Presidencia de la República de Colombia. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/0879%20-%201998.pdf>
- Presidente de la República. (19 de Septiembre de 2014). Decreto 1807 de 2014. *Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto-ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los POT y se dictan otras disposiciones*. Bogotá, Bogotá, DC, Colombia: Presidencia de la República. Obtenido de <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1354137>

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas.

(2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas*. Canadá: Servicio Nacional de Geología y Minería. Obtenido de <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/2792>

Quiroga, D. Gil, V & Coronato, A. (2014). *Morfometría de la cuenca del río Avilés, Tierra del Fuego, Argentina. Aportes al conocimiento de las condiciones de escurrimiento en territorios semiáridos*. Obtenido de [http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/revista/volumen\\_28/CyG\\_28\\_1y2\\_Morfometria.pdf](http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/revista/volumen_28/CyG_28_1y2_Morfometria.pdf)

Rangel, M., López, C., Medina, D., & León, D. (2020). *Características de las cuencas hidrográficas aplicado a las avenidas torrenciales conceptos preliminares*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

RCN Radio. (11 de Diciembre de 2016). *RCN Radio*. Obtenido de 77 personas permanecen atrapadas en la vía Güicán de la Sierra y Cubará, Boyacá tras deslizamientos: <https://www.rcnradio.com/colombia/77-personas-permanecen-atrapadas-la-la-via-guican-la-sierra-cubara-boyaca-tras-deslizamientos>

Redacción Negocios y Economía. (10 de Abril de 2017). *El Espectador*. Obtenido de Alerta roja en Cubará por deslizamientos de tierras: <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/alerta-roja-en-cubara-por-deslizamiento-de-tierras-articulo-688705>

- Rivas, D., & Moreno, M. (2019). *Delimitación hidrográfica y caracterización morfológico de la cuenca del río Metica. (Tesis de pregrado)*. Villavicencio: Universidad Cooperativa de Colombia. Obtenido de [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/11104/6/2019\\_Delimitaci%C3%B3n\\_hidrogr%C3%A1fica\\_Rio\\_metica.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/11104/6/2019_Delimitaci%C3%B3n_hidrogr%C3%A1fica_Rio_metica.pdf)
- Rojo, J. (24 de Abril de 2014). *Recursos hidráulicos*. Obtenido de Morfometría de cuencas: <http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>
- Sanchez, J. (31 de Septiembre de 2006). *Inea*. Obtenido de Balance hídrico en una cuenca: [http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwff/mdez/~edis/p/inea\\_013083.pdf](http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwff/mdez/~edis/p/inea_013083.pdf)
- Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25000*. Bogotá, D.C: Imprenta Nacional de Colombia.
- Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Las amenazas por movimientos en masa en Colombia: una visión a escala 1:100000* (Primera ed.). Bogotá, D.C: Imprenta Nacional de Colombia. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/319316051\\_Las\\_Amenazas\\_por\\_Movimientos\\_en\\_Masa\\_de\\_Colombia\\_Una\\_Vision\\_a\\_Escala\\_1100000](https://www.researchgate.net/publication/319316051_Las_Amenazas_por_Movimientos_en_Masa_de_Colombia_Una_Vision_a_Escala_1100000)

Servicio Geológico Colombiano. (2020). *Análisis de torrencialidad*. Bogotá, D.C:

Servicio Geológico Colombiano.

Suarez, M. (17 de Mayo de 2010). *Scribd*. Obtenido de Cuenca hidrográfica 5-clase 7:

<https://es.scribd.com/doc/37731211/Cuenca-Hidrografica-5-clase-7>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2018). *Atlas de riesgo de*

*Colombia: revelando los desastres latentes*. Bogotá, D.C: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Obtenido de

[https://www.preventionweb.net/files/62193\\_atlasriesgo1.pdf](https://www.preventionweb.net/files/62193_atlasriesgo1.pdf)

Vera, E., & Maira, V. (2020). *Análisis de metodologías para la evaluación del riesgo por avenidas torrenciales aplicadas a cuencas de alta montaña en Colombia*.

(*Monografía de pregrado*). Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Obtenido de

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/33612/mlvalderramac.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vidal, R., Barrios, A., & Rivas, F. (2013). Zonificación y jerarquización por amenaza torrencial de las quebradas que cruzan la troncal 5 entre las Playitas y Mesa

Bolivar, cuenca del Río Mocotíes, Mérida-Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 61-76. Obtenido de

<http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/45118/articulo4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vidal, R., Barrios, A., & Rivas, F. (2013). Zonificación y jerarquización por amenaza torrencial de las quebradas que cruzan la Troncal 5 entre Las Playitas y Mesa Bolívar, cuenca del río Mocotíes, Mérida-Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 61-76. Obtenido de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/45118/articulo4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

W Radio. (8 de Junio de 2015). *W Radio*. Obtenido de Boyacá: Cubará aislado e incomunicado por creciente de ríos y deslizamientos: <https://www.wradio.com.co/noticias/regionales/boyaca-cubara-aislado-e-incomunicado-por-creciente-de-rios-y-deslizamientos/20150608/nota/2796905.aspx>

Wikipedia. (14 de Diciembre de 2015). *Wikipedia: la enciclopedia libre*. Obtenido de Wikipedia: [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Colombia\\_-\\_Boyac%C3%A1\\_-\\_Distrito\\_Fronterizo.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Colombia_-_Boyac%C3%A1_-_Distrito_Fronterizo.svg)



**Apéndice A1**

A continuación se presenta, en la siguiente tabla, un fragmento del inventario geomorfológico, que muestra los movimientos en masa tipo flujo en la zona de estudio.

<b>No.</b>	<b>Fuente</b>	<b>Vereda</b>	<b>Subcuenca</b>	<b>Tipo MM</b>	<b>Subtipo</b>
1	Bing	SOLO WILCHES	01	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
2	Bing	CEDEÑO	01	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
3	Bing	CUBUGÓN	01	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
4	Bing	CUBUGÓN	01	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
5	Bing	CUBUGÓN	01	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
6	Bing	SOLO WILCHES	01	Flujo inactivo no verificado (escarpe)	Avalancha de detritos
7	Bing	SOLO WILCHES	01	Flujo inactivo no verificado (cuerpo)	Avalancha de detritos
8	Bing	SOLO WILCHES	01	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
9	Bing	SOLO WILCHES	01	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
10	Bing	SOLO WILCHES	01	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
11	Bing	SOLO WILCHES	01	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
12	Bing	SOLO WILCHES	01	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
13	Bing	SOLO WILCHES	01	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
14	Google Earth	CEDEÑO	01	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
15	Google Earth	CEDEÑO	01	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
16	Google Earth	MUNDO NUEVO	01	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
17	Google Earth	MUNDO NUEVO	01	Flujo inactivo no verificado	Avalancha de detritos
18	Google	MUNDO NUEVO	01	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos

No.	Fuente	Vereda	Subcuenca	Tipo MM	Subtipo
	Earth				
19	Google Earth	MUNDO NUEVO	01	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
20	Google Earth	MUNDO NUEVO	01	Flujo inactivo no verificado	Avalancha de detritos
21	Google Earth	MUNDO NUEVO	01	Flujo inactivo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
22	Google Earth	MUNDO NUEVO	01	Flujo inactivo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
23	Google Earth	MUNDO NUEVO	01	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
24	Google Earth	MUNDO NUEVO	01	Flujo inactivo no verificado	Avalancha de detritos
25	Bing	MUNDO NUEVO	01	Flujo activo no verificado (escarpe)	Avalancha de detritos
26	Bing	MUNDO NUEVO	01	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Avalancha de detritos
27	Bing	MUNDO NUEVO	01	Flujo inactivo no verificado	Avalancha de detritos
28	Bing	CEDEÑO	01	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
29	Google Earth	SOLO WILCHES	01	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
30	Google Earth	SOLO WILCHES	01	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
31	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
32	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado (tránsito)	Flujo de detritos
33	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
34	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos

<b>No.</b>	<b>Fuente</b>	<b>Vereda</b>	<b>Subcuenca</b>	<b>Tipo MM</b>	<b>Subtipo</b>
35	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
36	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de tierra
37	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de tierra
38	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo inactivo no verificado	Avalancha de detritos
39	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
40	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
41	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado (escarpe)	Avalancha de detritos
42	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Avalancha de detritos
43	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
44	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
45	Bing	AGUA BLANCA	02	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
46	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
47	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
48	Google Earth	AGUA BLANCA	02	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
49	Google Earth	AGUA BLANCA	02	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
50	Google Earth	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
51	Google Earth	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
52	Google Earth	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
53	Google Earth	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos

<b>No.</b>	<b>Fuente</b>	<b>Vereda</b>	<b>Subcuenca</b>	<b>Tipo MM</b>	<b>Subtipo</b>
54	Google Earth	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
55	Google Earth	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
56	Google Earth	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
57	Google Earth	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
58	Bing	SOLO WILCHES	02	Flujo activo no verificado (tránsito)	Avenida torrencial
59	Google Earth	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	03	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
60	Google Earth	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	03	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
61	Google Earth	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	03	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
62	Google Earth	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	03	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
63	Google Earth	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	03	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
64	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	04	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
65	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	05	Flujo activo no verificado (escarpe)	Avalancha de detritos
66	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	05	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Avalancha de detritos
67	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	05	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
68	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	05	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
69	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	05	Flujo activo no verificado (tránsito)	Flujo de detritos

<b>No.</b>	<b>Fuente</b>	<b>Vereda</b>	<b>Subcuenca</b>	<b>Tipo MM</b>	<b>Subtipo</b>
70	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	05	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
71	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	05	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
72	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	06	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
73	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	07	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
74	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	07	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de tierras
75	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	07	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de tierras
76	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	07	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
77	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	07	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
78	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	07	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de lodo
79	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	07	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de lodo
80	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	07	Flujo activo no verificado	No definido
81	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	07	Flujo activo no verificado	No definido
82	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo inactivo no verificado	Flujo de detritos
83	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
84	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
85	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo inactivo no verificado	Flujo de detritos
86	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo inactivo no verificado	Avalancha de detritos
87	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
88	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo inactivo no verificado	Avalancha de detritos
89	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo inactivo no verificado	Avalancha de detritos
90	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
91	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
92	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
93	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos

<b>No.</b>	<b>Fuente</b>	<b>Vereda</b>	<b>Subcuenca</b>	<b>Tipo MM</b>	<b>Subtipo</b>
94	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
95	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
96	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
97	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo inactivo no verificado	Flujo de tierra
98	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo inactivo no verificado	Flujo de tierra
99	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
100	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
101	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
102	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
103	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
104	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
105	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
106	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
107	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
108	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
109	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
110	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	08	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
111	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	09	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
112	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	09	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
113	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	09	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
114	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	09	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
115	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
116	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
117	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo inactivo no verificado	Flujo de detritos

<b>No.</b>	<b>Fuente</b>	<b>Vereda</b>	<b>Subcuenca</b>	<b>Tipo MM</b>	<b>Subtipo</b>
118	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (tránsito)	Avenida torrencial
119	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
120	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo inactivo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
121	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo inactivo no verificado (tránsito)	Flujo de detritos
122	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo inactivo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
123	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo inactivo no verificado	Flujo de detritos
124	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo inactivo no verificado	Avalancha de detritos
125	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
126	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (escarpe)	Avalancha de detritos
127	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Avalancha de detritos
128	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
129	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
130	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
131	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
132	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
133	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (tránsito)	Avenida torrencial
134	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
135	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
136	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
137	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
138	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos



<b>No.</b>	<b>Fuente</b>	<b>Vereda</b>	<b>Subcuenca</b>	<b>Tipo MM</b>	<b>Subtipo</b>
139	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
140	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (escarpe)	Avalancha de detritos
141	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Avalancha de detritos
142	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
143	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	11	Flujo inactivo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
144	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	11	Flujo inactivo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
145	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Flujo de tierra
146	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
147	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
148	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo inactivo no verificado	Flujo de detritos
149	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de lodo
150	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de lodo
151	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
152	Hero	LA BARROSA	11	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
153	Hero	LA BARROSA	11	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
154	Hero	LA BARROSA	11	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
155	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo inactivo no verificado	Flujo de detritos
156	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	11	Flujo activo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
157	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	11	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
158	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
159	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	11	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
160	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos

<b>No.</b>	<b>Fuente</b>	<b>Vereda</b>	<b>Subcuenca</b>	<b>Tipo MM</b>	<b>Subtipo</b>
161	Hero	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
162	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
163	Bing	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
164	Spot	AGUA BLANCA	11	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
165	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	12	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de tierras
166	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	12	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de tierras
167	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	12	Flujo activo no verificado	No definido
168	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	12	Flujo inactivo no verificado	No definido
169	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	12	Flujo activo no verificado	No definido
170	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	12	Flujo inactivo no verificado (cuerpo)	No definido
171	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	12	Flujo inactivo no verificado (escarpe)	No definido
172	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	12	Flujo activo no verificado	No definido
173	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de lodos
174	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
175	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
176	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
177	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
178	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado (cuerpo)	Flujo de tierras
179	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
180	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
181	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
182	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras

<b>No.</b>	<b>Fuente</b>	<b>Vereda</b>	<b>Subcuenca</b>	<b>Tipo MM</b>	<b>Subtipo</b>
183	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
184	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
185	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
186	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
187	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
188	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
189	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
190	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
191	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
192	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
193	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
194	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
195	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
196	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
197	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo inactivo no verificado	No definido
198	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	No definido
199	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	No definido
200	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	No definido
201	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	No definido
202	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	No definido
203	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo inactivo no verificado	No definido
204	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo inactivo no verificado	No definido
205	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo inactivo no verificado	No definido
206	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo inactivo no verificado	No definido

<b>No.</b>	<b>Fuente</b>	<b>Vereda</b>	<b>Subcuenca</b>	<b>Tipo MM</b>	<b>Subtipo</b>
207	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo inactivo no verificado	No definido
208	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	No definido
209	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	No definido
210	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	No definido
211	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	No definido
212	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	No definido
213	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
214	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
215	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
216	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
217	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
218	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
219	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Avalancha de detritos
220	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo inactivo no verificado (escarpe)	Flujo de detritos
221	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo inactivo no verificado (cuerpo)	Flujo de detritos
222	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
223	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
224	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
225	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
226	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
227	Bing	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	16	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
228	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	18	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos

<b>No.</b>	<b>Fuente</b>	<b>Vereda</b>	<b>Subcuenca</b>	<b>Tipo MM</b>	<b>Subtipo</b>
<b>229</b>	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	18	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
<b>230</b>	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	18	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
<b>231</b>	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	18	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
<b>232</b>	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	18	Flujo activo no verificado	Flujo de detritos
<b>233</b>	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	18	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
<b>234</b>	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	18	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
<b>235</b>	Hero	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	18	Flujo activo no verificado	Flujo de tierras
<b>236</b>	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	18	Flujo activo no verificado	No definido
<b>237</b>	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	18	Flujo activo no verificado	No definido
<b>238</b>	Sentinel II	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	18	Flujo activo no verificado	No definido
<b>239</b>	RapidEye	RESGUARDO INDIGENA UNIDO UWA	18	Flujo activo no verificado	No definido