



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS VILLAVICENCIO

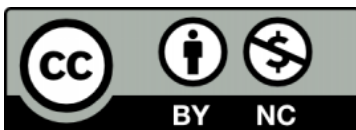
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL DE MOVIMIENTOS EN MASA DEL TRAMO
ALTO DEL CAÑO PENDEJO EN LA VEREDA MONTECARLO (VILLAVICENCIO –
META).



JESSICA KATHERINE GALLO AYALA

JERALDIN ROMERO CÓRDOBA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

INGENIERÍA AMBIENTAL

VILLAVICENCIO

2020



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS VILLAVICENCIO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL DE MOVIMIENTOS EN MASA DEL TRAMO
ALTO DEL CAÑO PENDEJO EN LA VEREDA MONTECARLO (VILLAVICENCIO –
META).

JESSICA KATHERINE GALLO AYALA
JERALDIN ROMERO CÓRDOBA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniería Ambiental

Director

ALFONSINA BOCANEGRA GÓMEZ
Geóloga e Ingeniera Industrial

Codirector

JORGE ELIECER PARDO MAYORGA
Ingeniero de Sistema e Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2020



CONCEPTO TÉCNICO

ASUNTO: Caracterización geoambiental de movimientos en masa del tramo alto del Caño Pendejo en la vereda Montecarlo (Villavicencio – Meta).

ELABORÓ: Jessica Katherine Gallo Ayala
Jeraldin Romero Córdoba

INTERESADO: Asociación Comité Empresarial del Acueducto y Alcantarillado
Montecarlo Alto.

NIT: 892099219-8

TIPO DE ENTIDAD: Acueducto comunitario

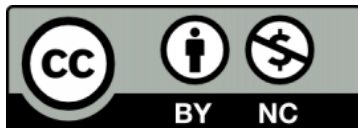
REPRESENTANTE LEGAL: Adriana María Baquero Rojas

DOCUMENTO DE IDENTIDAD: C.C. 40.186.315

LOCALIZACIÓN: Microcuenca Caño Pendejo

DEPARTAMENTO/MUNICIPIO: Meta/Villavicencio

FECHA DEL CONCEPTO: 14 de Agosto de 2020.



Objetivos

Objetivo general

Analizar los movimientos en masa, del tramo alto del Caño Pendejo de la vereda Montecarlo en Villavicencio (Meta).

Objetivos específicos

- Examinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en el movimiento en masa en el tramo alto de Caño Pendejo.
- Realizar un análisis cartográfico de los factores condicionantes mediante la superposición de mapas temáticos.



- Elaborar mapa de susceptibilidad por movimientos en masa a escala 1:10.000 en la microcuenca Caño Pendejo.

Introducción

El concepto fenómenos de remoción en masa son todos aquellos procesos por los cuales un volumen de material por roca, suelo, tierras, detritos o escombros, por gravedad se desplazan ladera abajo (Instituto de Investigaciones en Geociencias, 2014). Algunos movimientos en masa, pueden ser lentos imperceptibles y difusos, mientras que otros, pueden desarrollar velocidades altas, determinados por superficies de rotura (GEMMA, 2007).

La vereda Montecarlo de la ciudad de Villavicencio, se encuentra en el flanco de la cordillera oriental, sobre el trazo de la falla geológica Colepato (Parra & INGEOMINAS, 2001), sector en el que se presentan movimientos en masa, los cuales están afectando a la bocatoma del acueducto de Montecarlo.

El Caño Pendejo es un afluente del río Ocoa, se encuentra localizado al Sur de la ciudad de Villavicencio en la vereda Montecarlo, en la comuna 8; en la microcuenca se presentan afectaciones por fenómenos naturales, específicamente relacionados con los movimientos de masa, que afecta a la población que reside en el sector y al funcionamiento de la bocatoma del acueducto y alcantarillado de Montecarlo, el cual abastece a 491 familias y se ubica en el tramo alto del caño.

La ley 1523 del 2012 es la política nacional de gestión de riesgo y desastres en el artículo 42 establece que las entidades públicas o privadas encargadas de la prestación de servicios públicos debe realizar un análisis de riesgo (CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA, 2012), y la resolución 0549 del 2017 establece los criterios y estudios de riesgos en los sistemas de suministros de agua para consumo humano (Social & Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2017), normatividad que no se ha implementado en el acueducto comunitario de Montecarlo, el cual no cuenta con un sistema de gestión de riesgos. Para dar cumplimiento con la normatividad es necesario realizar un análisis de las amenazas existentes y para ello es fundamental partir del conocimiento geoambiental que determina la ocurrencia de un movimiento de masa existentes en el sector; estudio que se plasma en el presente informe técnico,



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS VILLAVICENCIO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

el cual se desarrolló bajo las directrices de la guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000, elaborada por el Servicio Geológico Colombiano.

Metodología

Acorde a los objetivos propuestos, el presente informe se desarrolla con base a la Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1: 25.000, propuesta por el Servicio Geológico Colombiano, la cual se divide en dos fases: Caracterización geoambiental y Susceptibilidad por movimientos en masa.

Caracterización Geoambiental

Esta fase consta de 3 etapas, en la cual fue necesario buscar, recopilar y analizar información secundaria, de fuentes públicas como la Alcaldía para la elaboración del Plan de ordenamiento territorial, Corporación para el desarrollo sostenible del área de manejo especial de la Macarena (CORMACARENA), Servicio Geológico Colombiano, diferentes estudios encontrados en el repositorio de la Universidad Santo Tomas y la Unidad de Gestión de Riesgo de Villavicencio, quién nos proporcionaron el Modelo Digital de Elevación (DEM), identificadas con mayor nivel de detalle en el Anexo A, para la elaboración de diferentes mapas a escala 1:10.000 procesados en ArcGIS 10.2 (Figura 1).

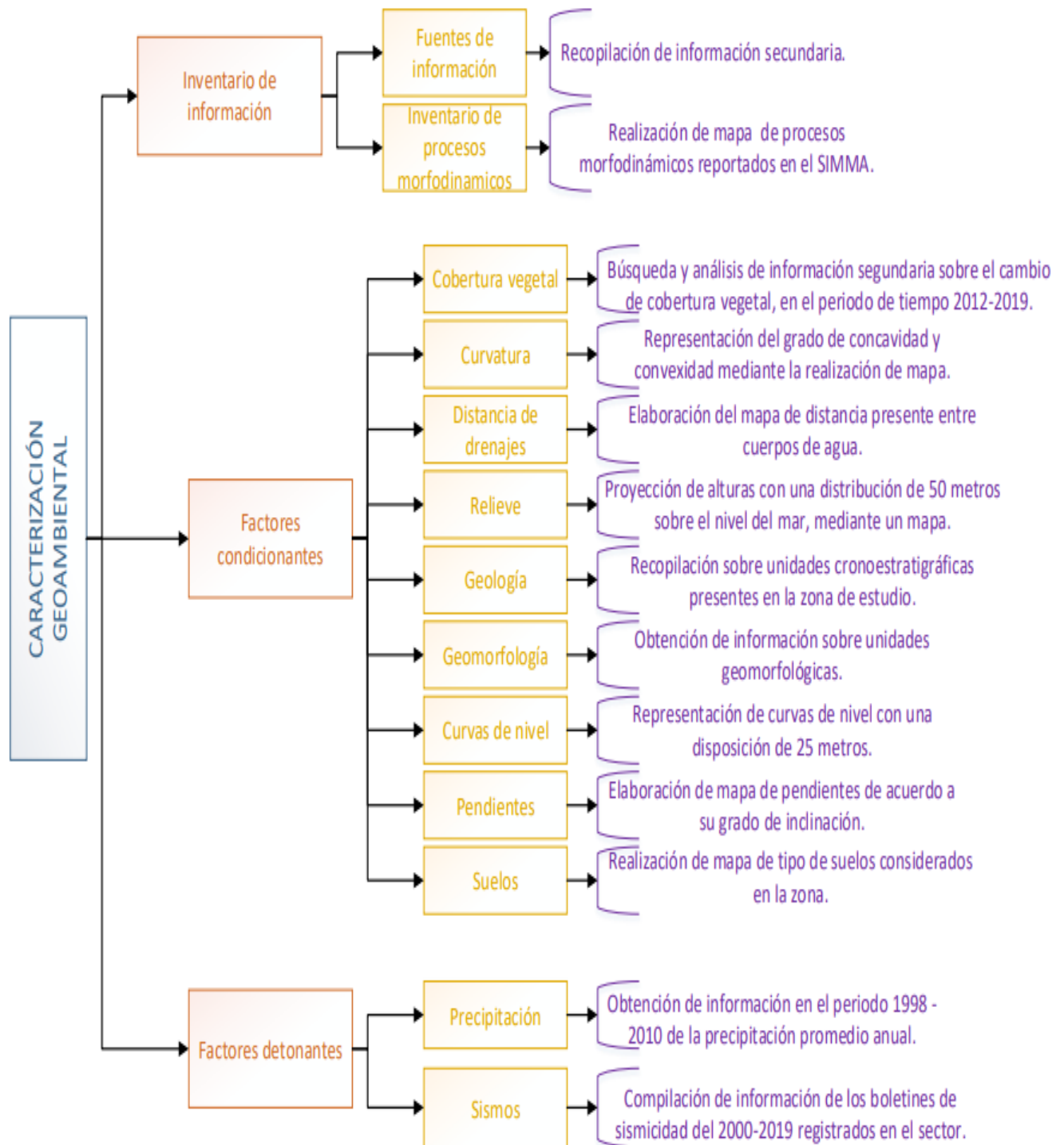


Figura 1. Metodología de la fase de Caracterización Geoambiental, por Gallo y Romero, 2020.



Susceptibilidad por movimientos en masa

Después de obtener los mapas de la fase de Caracterización Geoambiental, se procede a realizar el mapa de susceptibilidad, el cual se realiza mediante el método de valor de la información, este método es bivariado y sirve para predecir los deslizamientos que ocurrirán en un futuro (Guedjeo et al., 2017). Para este método se rasterizan 9 factores, 8 condicionantes (suelos, pendiente, relieve, curvatura, cobertura, vegetal, geomorfológico, geológico y distancia de drenajes), y 1 detonante (lluvia), respecto a los movimientos de masa.

Del ráster generado se obtuvo el valor de píxeles de cada clase (NCp) de los factores condicionantes y detonantes, luego, se relacionan los movimientos en masa presentes en la zona con el número de píxeles de cada factor, para obtener el número de píxeles por movimientos en masa (NSp). Después, se aplica la Ecuación 1 para calcular la probabilidad condicional (Cp), la Ecuación 2 para calcular la probabilidad previa (Pp) y, por último, se aplica la Ecuación 3 para calcular el logaritmo de la probabilidad condicional sobre la probabilidad previa (Guedjeo et al., 2017) (Figura 2).

$$Cp = \frac{NSp}{NCp}$$

*Ecuación 1. Cálculo
probabilidad condicional.*

$$Pp = \frac{\sum NSp}{\sum NCp}$$

*Ecuación 2. Cálculo
Probabilidad previa.*

$$Inf = \text{Log} \frac{Cp}{Pp} \text{ o } \ln \frac{\frac{NSp}{NCp}}{\frac{\sum NSp}{\sum NCp}}$$

*Ecuación 3. Cálculo valor
informativo.*

Donde.

Cp: Probabilidad Condicional, NSp: Numero de píxeles de la clase de diapositiva, NCp: Numero de clases del factor, Pp: Probabilidad previa, Inf: Valor informativo.

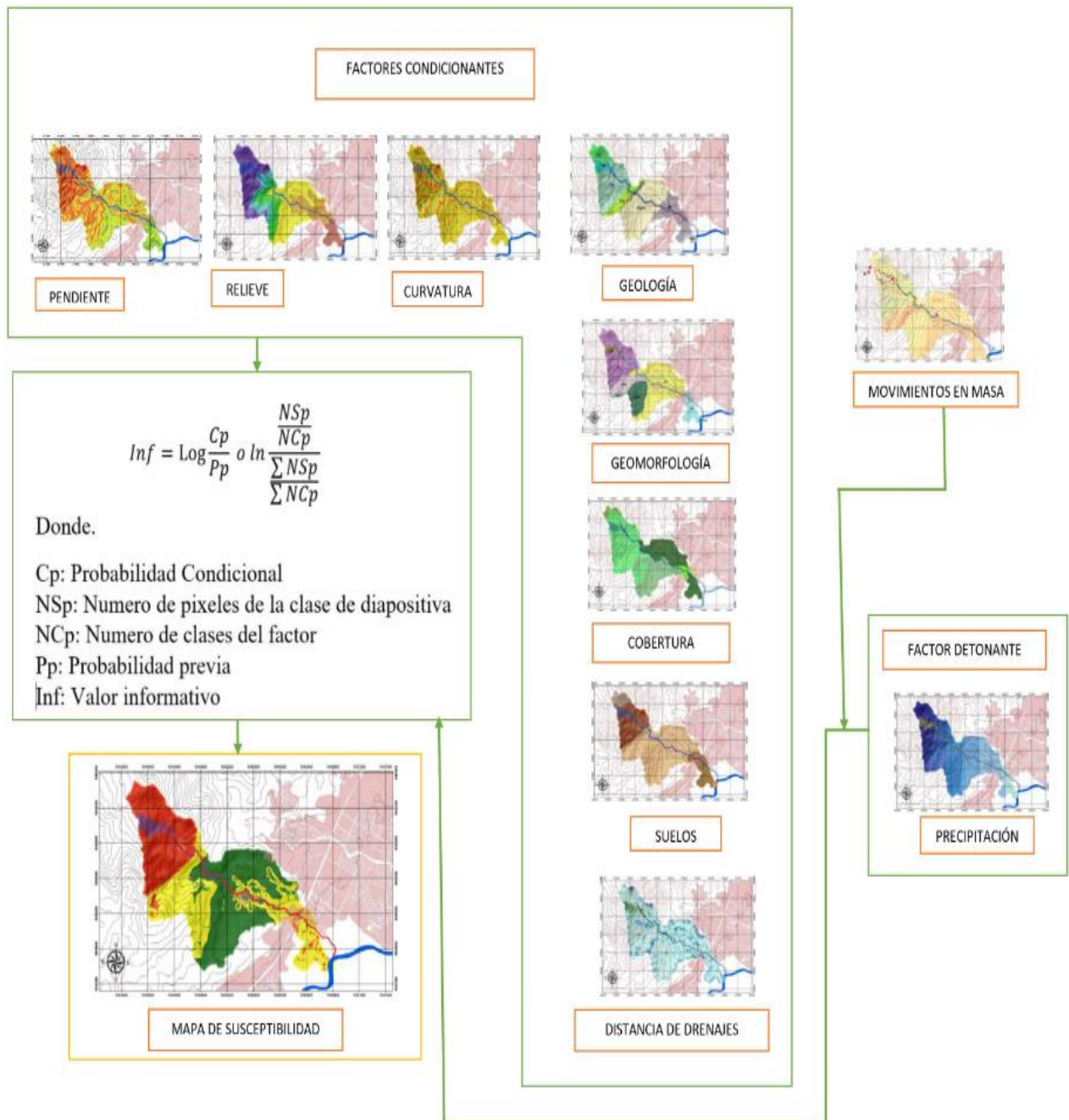


Figura 2. Metodología bivariada de Valor Informativo, por Gallo y Romero, 2020.



Resultados

Caracterización geoambiental

- **Inventario de procesos morfodinámicos.**

En la microcuenca Caño Pendejo se registran 5 movimientos en masa, 4 de estos son tipo deslizamiento y 1 tipo flujo, estos se registraron en el periodo de tiempo del 2007 al 2018 (Servicio Geológico Colombiano, 2020), (Tabla 1). Los deslizamientos se producen sobre una o varias superficies de rotura bien definidas, y los tipo flujo son movimientos en laderas cubiertas por material no consolidado, en donde el agua es el factor principal en este proceso, además de ser rápidos se presentan cuando hay fuertes precipitaciones (Vallejo, 2002).

Tabla 1. *Inventario de Movimientos en masa.*

N°	Tipo de movimiento	Fecha del evento	Importancia	Muertos	Latitud	Longitud	Altura
1	Flujo	27/11/2007	Alta	0	4°6'4.56"	-73°40'6.28"	502 m
2	Deslizamiento	09/01/2014	Baja	0	4°6'30.13"	-73°41'3.78"	864 m
3	Deslizamiento	21/12/2015	Baja	0	4°6'29.61"	-73°41'7.74"	836 m
4	Deslizamiento	07/10/2017	Alta	0	4°6'27.21"	-73°40'43.82"	732 m
5	Deslizamiento	02/08/2018	Baja	0	4°6'33.68"	-73°41'2.71"	915 m

Nota: Datos obtenidos del SIMMA, por Gallo y Romero, 2020.

Como se evidencia en la Figura 3, los movimientos en masa tipo deslizamientos se presentan en la parte alta de la microcuenca y están representados con círculos rojos, y el movimiento en masa tipo flujo se presenta en la parte media de la microcuenca con un triángulo rojo.

En la zona de estudio se identifica un movimiento activo de gran dimensión que se localiza en el sector alto de la microcuenca, se identifica claramente el escarpe. De acuerdo al SGC en el informe de la visita de emergencia realizada en marzo del 2018, indica que es un movimiento en masa activo, retrogresivo con un avance rápido, desarrollado en rocas sedimentaria, que se inicia con pequeños deslizamientos traslacionales al largo de los planos de estratificación de la roca que



aflora en el sector, dada las estructuras de las rocas se desarrollan movimientos tipo cuña (CORMACARENA, 2005) .

En la Figura 3, están representados los movimientos en masa, los cuales se clasifican en zona de escarpe o zona principal, zona de transición y zona de depósito o cuerpo del movimiento. La zona de escarpe se encuentra ubicada en la parte alta y media de la microcuenca delimitado de color café, esta corresponde a la superficie expuesta por movimientos en masa del cuerpo principal, en este caso Caño Pendejo. La zona de transición se localiza en toda la microcuenca, delimitado de color azul, siendo este el área de trayectoria de los movimientos en masa (Servicio Geológico Colombiano, 2017), la zona de depósito se encuentra en gran parte de la microcuenca, representada de color amarillo, considerando que en esta zona reposa el material desprendido por movimientos en masa y desplazado por el agua (Sarmiento Linares, 2017), para mayor nivel de detalle, ver Anexo B. De acuerdo a los resultados y la información secundaria reunida, en la parte superior se presenta un movimiento de tipo traslacional, pero por las condiciones de la microcuenca, el aumento en la concentración de agua deriva en flujos, los cuales se depositan en la parte inferior del sector.

El concepto técnico N°5.05.0958 de CORMACARENA de la visita realizada el 5 de agosto del 2005, reportaron depósitos de escombros con presencia de troncos de árboles con diámetros mayores de 30 centímetros y bloque de rocas con diámetros superiores a un metro, mezclados con sedimentos arenosos saturados y en algunos sectores se presentan depósitos que superan un metro (CORMACARENA, 2005).

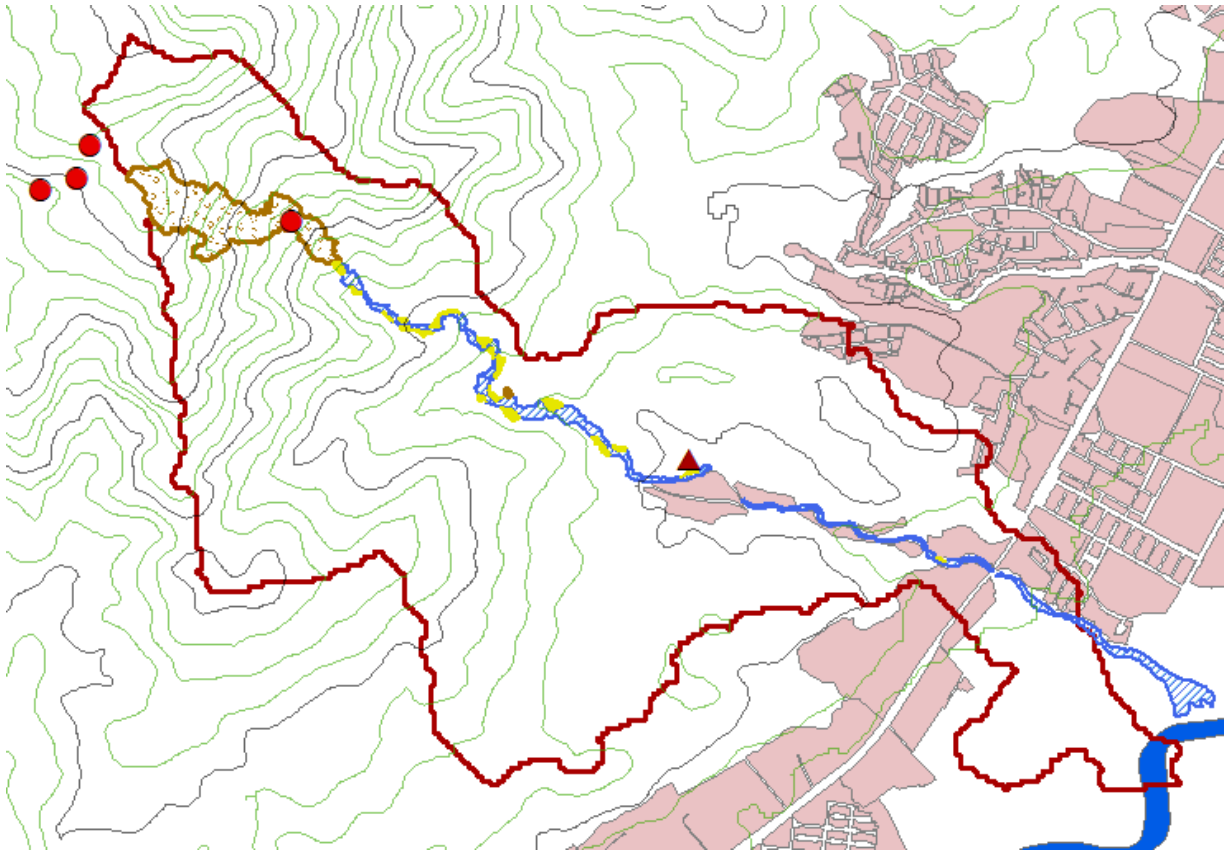


Figura 3. Mapa de inventario de procesos morfodinámicos de la microcuenca Caño Pendejo, por Gallo y Romero, 2020.

- **Factores condicionantes.**

- **Cobertura vegetal.**

De acuerdo a (Charman & Murphy, 2007), la cobertura vegetal genera efectos mecánicos los cuales son control de erosión, resistencia del suelo, protección del suelo y enraizamiento. Las actividades antrópicas han generado la aparición de patrones que afectan la estabilidad del talud, el ciclo hidrológico y deterioro en el ecosistema, dado que la cobertura vegetal es un factor detonante importante en la propagación de procesos erosivos como movimientos en masa (INGEOMINAS, 2010). En la Tabla 2, se permite identificar 7 usos del suelo de la microcuenca Caño Pendejo, ver detalladamente el Anexo C, donde se evidencian las coberturas vegetales presentes en el año 2019.



Tabla 2. Área de usos del suelo.

FACTOR (GRIDCODE)	UNIDAD	AREA (ha)	% ÁREA
1	Tejido urbano discontinuo	7,078125	2,4%
2	Bosque fragmentado	68,718750	23,8%
3	Pastos limpios	0,812500	0,3%
4	Tejido urbano continuo	2,812500	1,0%
5	Mosaico de cultivos y espacios naturales	77,000000	26,6%
6	Vegetación secundaria o en transición	5,984375	2,1%
7	Bosque denso	126,562500	43,8%

Nota: Tabla de usos del uso de la microcuenca Caño Pendejo, Por Gallo y Romero, 2020.

Bosques: Compuesto por las unidades de Bosque fragmentado que comprende pastos y cultivos, así mismo el Bosque denso está constituido por elementos típicamente arbóreos (Duran, 2018), siendo esta la unidad más representativa con un porcentaje de área 67,6% de la microcuenca Caño Pendejo.

Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales: Conformada por una combinación de pastos y espacios naturales. Los espacios naturales están constituidos por bosque natural, arbustos, herbazales, bosque de galería y pantanos (Rincón Carrera, n.d.). Siendo el segundo uso de suelo con mayor un porcentaje de área con 26,6%.

Pastos limpios: Tierras ocupadas por pastizales dedicadas a pastoreo (Rincón Carrera, n.d.), con el menor porcentaje de área de la microcuenca con 0,3%.

Tejido urbano continuo: Área conformada por edificaciones (Rincón Carrera, n.d.), las cuales cubren el 1% del área de la microcuenca.

Tejido urbano discontinuo: Conformado por zonas verdes e infraestructura edificada (Rincón Carrera, n.d.), con un porcentaje de área de la microcuenca de 2,4%.

Vegetación secundaria: Originada por intervención o destrucción de vegetación primaria, en recuperación a su estado natural (Rincón Carrera, n.d.), con porcentaje de área de 2,1% de la microcuenca.



➤ **Cambio de cobertura.**

Se identifica el cambio de uso del suelo en el periodo de tiempo 2012 y 2019 de la microcuenca Caño Pendejo. En la parte alta de la microcuenca se observa que la vegetación secundaria o en transición disminuyó, el bosque denso aumento, el bosque fragmentado disminuyó, el tejido urbano continuo aumento, el tejido urbano discontinuo aumento, el mosaico de cultivos y espacios naturales disminuyó y los pastos limpios disminuyó, debido a que es la zona de transición del río Ocoa, observar detalladamente el Anexo D.

➤ **Curvatura.**

La curvatura indica la forma de las laderas, y afecta la aceleración y desaceleración de los movimientos en masa (guataquira Rojas, 2013), en donde se determina el grado de Concavidad o Convexidad de una determinada zona de estudio, esta variable se relaciona con los movimientos en masa en la medida en que indica el grado de concentración o dispersión del drenaje superficial, en donde el flujo de las zonas cóncavas se concentra hacia la celda, mientras que en las convexas el flujo se dispersa (Servicio Geológico Colombiano, 2017), teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

Valor positivo: Superficie lateralmente convexa

Valor negativo: Superficie lateralmente cóncava

Valor alrededor de cero: Superficie lineal

Esta variable se divide en 5 clases, como se indica en el Tabla 3 en la cual se observa un dominio de la curvatura cóncava con un porcentaje de área de 40,65%, seguido de la curvatura convexa con un porcentaje de área de 39,14%.

Tabla 3. Áreas de intervalos de Curvatura.

FACTOR (GRIDCODE)	INTERVALOS	RANGOS	AREA (ha)	% AREA
1	<-5	Muy Convexa	0,03125	0,01%
2	-5 - (-0,001)	Convexa	113,265625	39,14%
3	-0,001 - (0,001)	Plana	58,453125	20,20%
4	0,001 - 5	Cóncava	117,625	40,65%
5	>5	Muy Cóncava	0,015625	0,01%

Nota: Intervalos usados para el mapa de curvatura, por Gallo y Romero, 2020.



En el Anexo E se comprende la distribución de curvatura en la zona de estudio, siendo la curvatura cóncava la que abarca mayor área del mapa con un color verde claro.

Considerando el alto grado de convexidad o concavidad de la curvatura del terreno, los movimientos en masa serán acelerados y la superficie les facilitará el desplazamiento por efecto de la gravedad (Rojas, 2018). En el sector predomina la curvatura cóncava que facilita la captación de agua lluvia, factor detonante en la generación de movimientos de masa, especialmente tipo flujo.

➤ ***Distancia de drenajes.***

El mapa de distancia de drenajes se clasifica en 5 intervalos cada 25m (Anexo F), predominando el intervalo de 0 – 25 m, con un porcentaje de área de 66,51% de la microcuenca, indicando que las zonas de estos rangos son más propensas a movimiento en masa puesto que se encuentran cerca al drenaje. Y el rango con menor área es >100m, con un porcentaje de 0,15% como se observa en la Tabla, este rango se encuentra retirado del drenaje o afluente, por ende, tiene menor probabilidad a eventos de movimientos en masa (Regmi et al., 2010). De acuerdo al resultado obtenido la densidad de los drenajes ayuda al aumento de la escorrentía de los materiales, junto con las altas pendientes presente en el tramo alto y las altas precipitaciones que oscilan entre 4700mm y 4650mm anual que supera el registro promedio en Villavicencio de acuerdo al IDEAM que reporta un promedio anual de 4383mm (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), 2014).

Tabla 4. *Intervalos de distancia de drenajes.*

FACTOR (gridcode)	INTERVALO (m)	AREA (ha)	% AREA
1	0-25	192,46875	66,51%
2	25-50	66,59375	23,01%
3	50-75	25,9375	8,96%
4	75-100	3,953125	1,37%
5	>100	0,4375	0,15%

Nota: Intervalos usados para el mapa de distancia de drenajes de la microcuenca Caño Pendejo, por Gallo y Romero, 2020.



➤ **Relieve.**

La parte media de la microcuenca Caño Pendejo cuenta con un porcentaje de área de 30,8%, siendo la más representativa con el rango de 500 a 550 metros y la menos representativa es la parte baja de la microcuenca con un porcentaje de área del 7,0%, en el rango de 436 – 450m, como se observa en la Tabla 5. Identificada con mayor detalle en el Anexo G.

Tabla 5. *Intervalos de altura Mapa de relieve.*

Factor (gridcode)	Intervalo de Altura (m)	AREA (ha)	% Área
1	436 -450	20,203125	7,0%
2	450 - 500	41,671875	14,4%
3	500 - 550	89,109375	30,8%
4	550 -600	34,046875	11,8%
5	600 - 650	29,359375	10,1%
6	>650	75,000000	25,9%

Nota: Intervalos de altura usado para el mapa de la microcuenca caño Pendejo, por Gallo y Romero, 2020.

El relieve favorece los procesos gravitatorios por la diferencia de altitud (IDEAM, 2012), originando laderas de alta probabilidad desencadenante de movimientos en masa, influyendo en la erosión y depósito de los mismos, facilitando la meteorización de las rocas superficiales que lo conforman (Rodríguez Valdivia, Alan et al., 2004).

➤ **Geología.**

La geología en los movimientos en masa presenta varias relaciones complejas, debido a que rige su comportamiento bajo diversas condiciones ambientales (Rojas Suarez, 2016). La microcuenca Caño Pendejo cuenta con diferentes formaciones geológicas descritas en la Tabla 6.



Tabla 6. *Formaciones geológicas presentes en la Microcuenca Caño Pendejo.*

FORMACIÓN	SIMBOLO	EDAD	DESCRIPCIÓN
GEOLÓGICA			
Formación arenisca de Cáqueza	Kic	Cretácico Inferior	Arenita cuarzosa blanca, grano medio a conglomerático con gránulos de cuarzo hasta 1cm de diámetro. Presenta intercalaciones de lodolita gris verdosa.
Formación Fómeque	Kif		Arcillolita pardo amarillenta, alterna con arenita lítica grisácea ocasionalmente calcárea.
Formación Une	Kiu		Arenita de color blanco amarillento, grano grueso de cuarzo lechoso e incluye lodolita gris y lentes de carbón
Formación Chipaque	Ksc	Cretácico Superior	Lodolita gris oscura en bancos gruesos, con intercalaciones de arenita cuarzosa, grano medio en capas hasta de 40cm, ocasionalmente calizas y lentes delgados de carbón.
Formación la Corneta	NgQlc	Terciario	Conglomerado que incluye desde bloques hasta guijos de cuarcita, arenita y lodolita, en matriz arenosa gruesa.
Terrazas	Qt	Cuaternaria	Guijos y gravas de rocas sedimentarias y metamórficas, producto de la degradación de las unidades geológicas que conforman el borde llanero.
Depósitos Aluviales	Qal		

Nota: Descripción de las formaciones presentes en la microcuenca caño Pendejo. Adaptado de “Memoria explicativa del Mapa Geomorfológico aplicado a movimientos en masa, Plancha 266-Villavicencio”, por Gallo y Romero, 2020.

En la edad terciaria se ubica la formación corneta con un porcentaje de área de 38,6%, como se contempla en el Anexo I, siendo esta la formación geológica predominante de la microcuenca Caño Pendejo (Figura 4).

La zona de estudio cuenta con una discontinuidad estructural, siendo esta, la falla Colepato, esta falla se localiza al sur del municipio de Villavicencio, la cual pone en contacto a la formación Chipaque y Corneta (ULLOA MELO, 1988), para mayor nivel de detalle de la Figura 4 ver Anexo H.

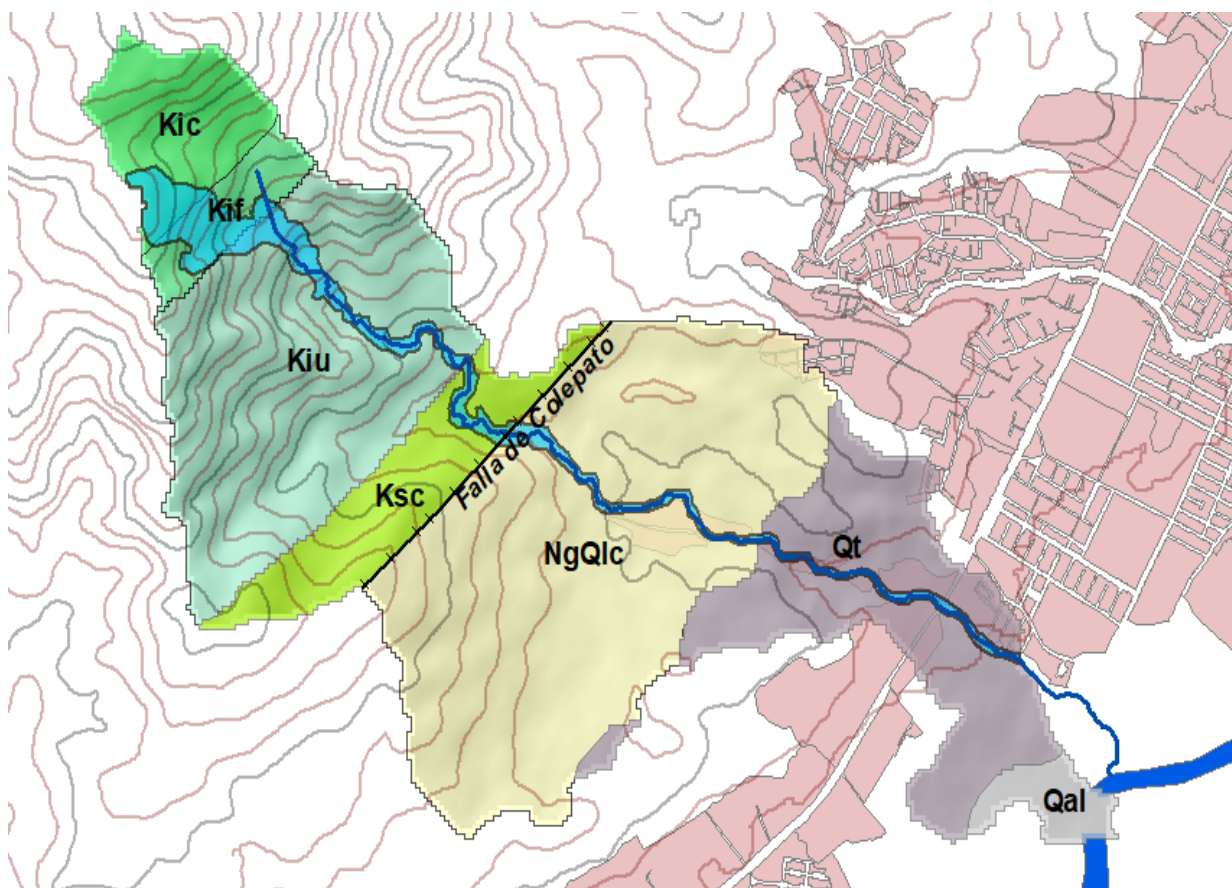


Figura 4. Mapa geológico de la microcuenca caño Pendejo, por Gallo y Romero, 2020.

➤ **Geomorfología.**

Por medio del Convenio 15 de 2017 firmado entre el Servicio Geológico Colombiano y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sobre la Geomorfología aplicada a Movimientos en Masa de la Plancha 266 Villavicencio, se localiza la zona de estudio, este permite evaluar el comportamiento del terreno, los procesos bajo el cual se formaron y su incidencia en los procesos dinámicos presentes en el sector (Parra & INGEOMINAS, 2001).

En la parte media de la microcuenca Caño Pendejo con un porcentaje de área de 39% se encuentra la unidad ladera ondulada, siendo este el mayor porcentaje de área de la microcuenca y en la parte baja se sitúa la unidad de abanico aluvial sub-reciente, con el menor porcentaje de área de 0,1%. En la Tabla 7 se observan los porcentajes de áreas de cada una de las unidades geomorfológicas, en el Anexo J se representan cada una de las unidades.



Tabla 7. *Unidades geomorfológicas.*

FACTOR (gridcode)	UNIDAD	AREA (ha)	% AREA
1	Cauce aluvial	1,031250	0,4%
2	Abanico aluvial sub-reciente	0,312500	0,1%
3	Ladera estructural de sierra homoclinal	35,906250	12,4%
4	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	26,296875	9,1%
5	Plano o llanura de inundación	25,281250	8,7%
6	Ladera Ondulada	112,875000	39,0%
7	Cono de deslizamiento indiferenciado	7,625000	2,6%
8	Sierra	80,062500	27,7%

Nota: Porcentajes de área de las unidades geomorfológicas de la microcuenca Caño Pendejo. Por, Gallo y Romero, 2020.

➤ ***Curvas de nivel.***

La diferencia de altitud de las curvas de nivel de Caño pendejo es de 25m, de acuerdo al Anexo K se identifican 2 tipos de curvas de nivel, Intermedio de color Vinotinto e Índice o maestra de color negro. La curva intermedia son líneas delgadas, con estas no se lee la altura, pero se tienen en cuenta para referenciarlas, en cambio las curvas tipo índice, son líneas gruesas, estas indican el número de la altura del terreno y se presentan cada 5 curvas de las curvas intermedias.

En la parte alta de la microcuenca las curvas de nivel se encuentran más cerca una de la otra, indicando que la pendiente tiene un mayor grado de inclinación, mientras que, en la parte media y baja, las curvas de nivel se observan más alejadas, debido a que su grado de inclinación es menor (Figura 5).

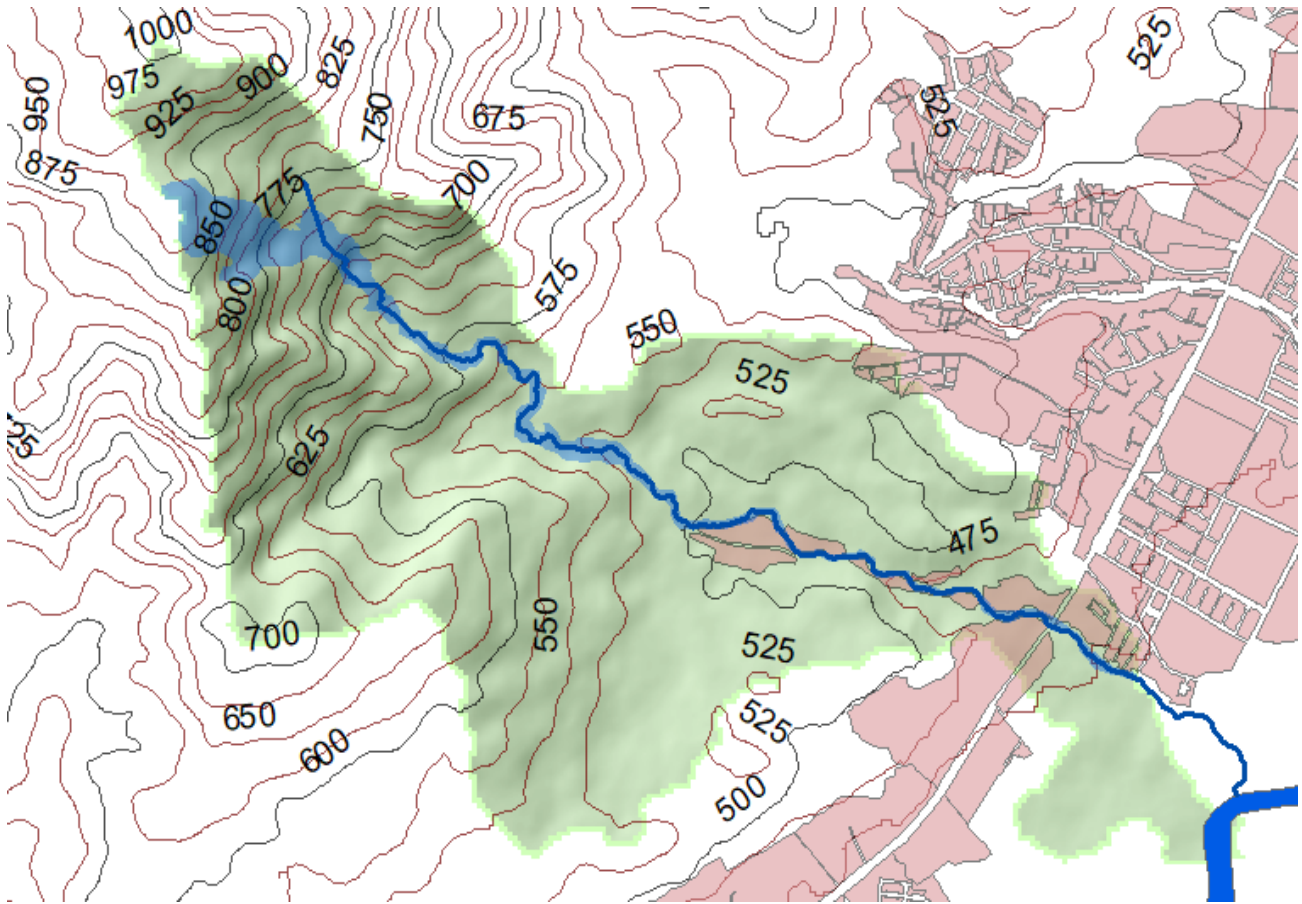


Figura 5. Mapa de Curvas de Nivel, por Gallo y Romero, 2020.

➤ **Pendiente.**

Las pendientes es una variable importante para el análisis de susceptibilidad, debido a que constituyen un fenómeno gravitacional donde las zonas altas y las pendientes de mayor rango generan la propagación de movimientos de masa (Tao et al., 2016).

La microcuenca Caño Pendejo se encuentra localizada sobre el Piedemonte de la Cordillera Oriental, donde se exponen gran variedad de pendientes. Los valores de inclinación se encuentran en un rango de 0° a 53°, clasificados en 6 rangos según (Van Zuidam, 1987), y modificados de acuerdo al área de estudio (Tabla 8).



Tabla 8. Rangos de pendiente utilizados para la zonificación de amenazas por movimientos en masa.

INCLINACIÓN (°)	PROCESOS CARACTERÍSTICOS	CONDICIONES DEL TERRENO
0 – 2	Plano a casi plano	No hay denudación apreciable.
2 – 4	Suavemente inclinado	Movimientos en masa de baja velocidad y procesos erosivos de diferentes tipos, especialmente bajo condiciones periglaciares (solifluxión) y fluviales (erosión laminar y en surcos). Susceptible a desarrollar procesos erosivos.
4 – 8	Inclinado	Condiciones similares a las anteriores. Alta susceptibilidad a desarrollar procesos erosivos.
8 – 16	Moderadamente abrupto	Movimientos en masa de todos los tipos, especialmente solifluxión periglacial, reptación y ocasionalmente deslizamientos, también erosión de tipo laminar y en surcos. Susceptibilidad a erosión y deslizamientos.
16 – 35	Abrupto	Procesos denudacionales intensos de diferentes tipos (erosión bajo cubierta forestal, reptación, deslizamientos). Alta propensión al desarrollo de procesos erosivos.
35 – 53	Muy abrupto	Afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, depósitos granulares caóticos de poco espesor.

Nota: Explicación de los procesos característicos de la pendiente, por (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

Como se indica en el Anexo L, el rango con mayor porcentaje de área es 16°-35° con 33, 38%, observando el mapa de pendientes (Anexo M) esta zona se encuentra en la parte alta y central de la microcuenca, es decir, es una zona abrupta con procesos denudacionales y con alta propensión al desarrollo de procesos erosivos, finalmente los rangos con menor porcentaje de área corresponden a 2°-4°, 35°-53° y 0°-2°.

➤ **Suelos.**

El suelo es un factor importante para los movimientos en masa, ya que se forma a partir de la meteorización de rocas, se clasifican de acuerdo a sus propiedades físicas, dependiendo del origen, la historia tectónica, la diagénesis, los procesos de meteorización y el metamorfismo, los cuales intervienen en su comportamiento (Servicio Geológico Colombiano, 2017).



En la microcuenca Caño Pendejo se contemplan 5 Unidades Cartográficas de suelo (UCS), como se observa en el Anexo N. La unidad con mayor área es MUOef1, se encuentra ubicada en la parte media de la microcuenca con un porcentaje de área de 61,29% (Anexo Ñ), compuesta por areniscas y arcillolitas intercaladas, esta se caracteriza por tener clima cálido, muy húmedo y suelos superficiales, excesivamente drenados.

- **Factores detonantes.**

- ***Precipitación.***

Según (Dahal et al., 2008) la incidencia de precipitación como factor detonante es de gran importancia en los movimientos en masa, por ende, ha sido involucrada en las evaluaciones de susceptibilidad. En el Anexo O se observa el mapa de isoyetas, en el cual se presenta de manera gráfica la distribución de precipitación sobre la zona para el período de tiempo de 1998 a 2010, de acuerdo a la precipitación anual de información disponible de las estaciones meteorológicas dentro de la jurisdicción. Cabe resaltar que el tramo alto de Caño pendejo presenta mayor intensidad de lluvia con un intervalo de 4.650 - 4.700 mm, ocupando un porcentaje de área de 3,8% del área de la zona de estudio (Anexo P), Villavicencio cuenta con un promedio anual de 4383mm, es decir, que la microcuenca Caño Pendejo supera este promedio anual de precipitaciones (Instituto de Hidrología Metereología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), 2014).

Sismos.

Los sismos afectan el equilibrio de las laderas y ocasionan movimientos en masa, por medio de vibraciones, los cuales pueden desencadenar efectos que generan roturas en el terreno y grandes deformaciones (Manrique, 2016).

Se realiza una presentación de los sismos ocurridos en el periodo de tiempo del 2000 al 2020 en el municipio de Villavicencio, como se visualiza en el Anexo Q. Donde la mayoría de los sismos se encuentran en el rango de profundidad de 0-30km, expresados de color rojo y de color verde el sismo con mayor profundidad en un rango de 70-120km, ocurrido el 8 de octubre del 2001. Enfatizando los sismos relevantes con mayor magnitud, sucedidos el 31 de mayo del 2000, 12 de junio del 2010 y 12 de junio del 2014, con una magnitud de 3.8Mw, 3.7Mw y 4.3Mw respectivamente. Para un mayor nivel de detalle ver Anexo R.



Susceptibilidad por movimientos en masa

La susceptibilidad a movimientos en masa es la medida cuantitativa o cualitativa del área estudiada en la que existen o pueden existir deslizamientos, considerando la clasificación, área y distribución espacial de los movimientos en masa (Fell et al., 2008).

Para el mapa de susceptibilidad se define un valor de área afectada para las variables de suelos, pendiente, relieve, curvatura, cobertura vegetal, geomorfología, geología, precipitaciones y distancia de drenajes. Luego se desarrolla la ecuación de cálculo de valor informativo y se obtiene un valor de información (Anexo S).

La susceptibilidad de la zona de estudio se clasificó en 3 categorías, alta, media y baja (Figura 6), utilizando el método Cortes naturales de Jenks, este se basa en agrupar los valores similares y maximizar las diferencias entre clases, para observar a mayor nivel de detalle las diferencias considerables de los valores (Departamento de Geografía Universidad de Alcalá, n.d.).

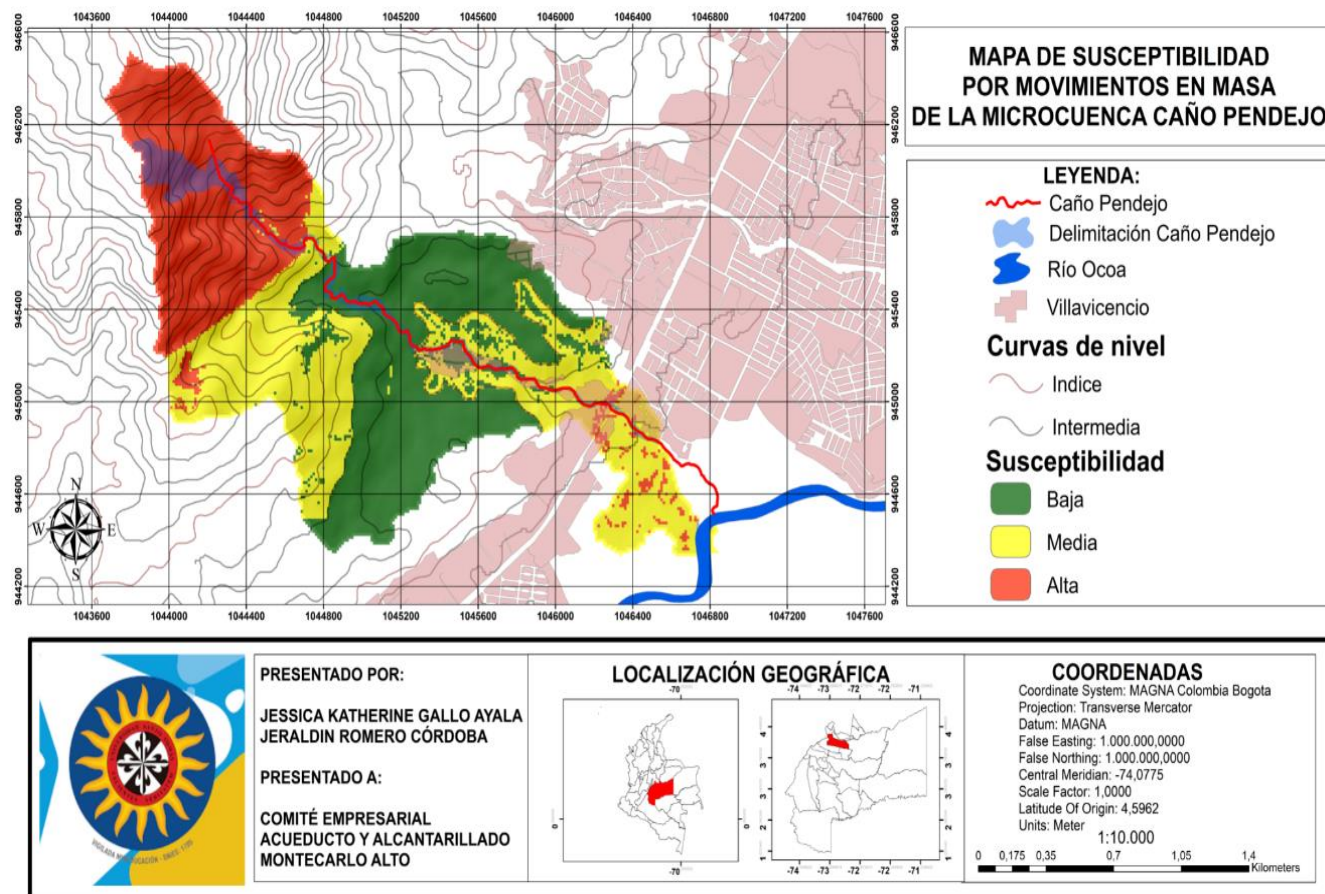


Figura 6. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de la microcuenca Caño Pendejo, por Gallo y Romero, 2020.



- **Susceptibilidad alta.**

La microcuenca Caño Pendejo presenta susceptibilidad alta a detonar deslizamientos, esta se presenta en la parte alta (Figura 6), con un porcentaje de área de 28,32%, cubriendo 81,84 (ha) de la zona de estudio (Tabla 9), debido a las incidencias de los factores condicionantes y detonantes, de forma directa e indirecta. Entre los factores condicionantes que incide en el desarrollo de los movimientos de masa se presentan las pendientes mayores a 35° con relieves abrupto a muy abrupto, la curvatura del terreno que es de tipo cóncava que permite las escorrentía del agua lluvia, zona en la cual se presenta precipitaciones por encima del promedio registrado en Villavicencio y que supera los 4650mm anuales, además las unidad geomorfológicas presentes son de tipo denudacional que contribuyen al desprendimiento del material y por las condiciones de clima y el tipo de roca facilita el grado de meteorización del material, que lo hace susceptibles a fenómenos dinámicos; de acuerdo a la información secundario y a las visitas técnicas enunciadas como el cambio de cobertura han contribuido al desarrollo del escarpe y que el movimiento de masa sea activo. Los factores detonantes como son los sismos podrían agravar la situación.

- **Susceptibilidad media.**

En la microcuenca Caño Pendejo predomina la susceptibilidad media, con un porcentaje de área de 36,13%, abarcando 104,39 (ha) (Tabla 9), distribuido en la parte media y baja de la zona de estudio (Figura 6). Agrupa las zonas con susceptibilidad moderada a detonar deslizamientos, los cuales pueden presentar daños de cultivos y de obras civiles. Las zonas residenciales con presencia de amenaza de esta susceptibilidad son Montecarlo sector 3, Rincón de las lomas, Condominio Quintas de Montecarlo, el colegio Nuestra Señora de la paz y zonas recreacionales como piscinas del acuario y Finca hotel la Portada.

Estas zonas de susceptibilidad media cuentan con unidades cronoestratigráficas con mayor presencia de formación Chipaque, Depósitos aluviales y Terraza, se relaciona con pendientes Abruptas y moderadamente abruptas y geomorfológicamente se asocia con ambiente Estructural, correspondiente a Ladera de contrapendiente y Ladera estructural de sierra homoclinal, y Fluvial y Lagunar, correspondientes a plano o llanura de inundación, cauce aluvial y abanico aluvial sub-reciente.



- **Susceptibilidad baja.**

La susceptibilidad baja de la microcuenca Caño Pendejo ocupa un porcentaje de área 35,55 %, ocupando 102,73 (ha) del área total de la zona de estudio (Tabla 9). Se encuentra distribuida en la parte media de la microcuenca, agrupando las zonas con menor incidencia de susceptibilidad a detonar deslizamientos (Figura 6). Dicha susceptibilidad presenta zonas de pendientes planas a casi planas y suavemente inclinadas, con presencia de suelos compuestos por areniscas y arcillolitas intercaladas, con textura moderadamente gruesa, fertilidad baja y susceptibles a erosión, con uso del suelo de bosque fragmentado, mosaico de cultivos y espacios naturales, en los cuales se encuentran obras civiles. El barrio Teusaquillo y la Planta de tratamiento Montecarlo Alto se encuentra con presencia de amenaza baja.

Tabla 9. *Áreas de susceptibilidad por movimientos en masa.*

FACTOR (gridcode)	RANGO (°)	AREA (ha)	% AREA
1	ALTA	81,84375	28,32%
2	MEDIA	104,390625	36,13%
3	BAJA	102,734375	35,55%

Nota: Rangos de susceptibilidad por movimientos en masa con su respectiva área de la microcuenca Caño Pendejo, por Gallo y Romero, 2020.



Referencias

Charman, P., & Murphy, B. (2007). Soil, Their properties and management (A. : O. U. P. South Melbourne (ed.)).

CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (2012). Ley 1523 de 2012. Diario Oficial 48242 Del 3 de Noviembre de 2012.
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=17985#2>

CORMACARENA. (2005). Visita de evaluación situación zona de riesgo geológico cabecera Caño Pendejo.

Dahal, R. K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Dhakal, S., & Paudyal, P. (2008). Predictive modelling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights-of-evidence. *Geomorphology*, 102(3–4), 496–510.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.041>

Departamento de Geografía Universidad de Alcalá. (n.d.). INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.
https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-200303/TAB42351/introsig5.pdf

Duran, H. Y. (2018). Zonificación De Susceptibilidad Por Movimientos En Masa a Multivariado Para El Municipio De Heliconia , Departamento De Proyecto De Grado Autor : Henry Yitzkshar Duran Ferreira Asesor : Marco Fidel Gamboa Ramírez Medellín Antioquia Universidad Eafit. Universidad Eafit.
https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/13349/HenryYitzkshar_DuranFerreira_2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., & Savage, W. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102(3–4), 85–98.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013795208001762?via%3Dihub>

GEMMA. (2007). Movimientos en masa en la región Andina: una guía para la evaluación de amenazas. 404.



guataquira Rojas, manuel felipe. (2013). Análisis de movimientos en masa mediante la aplicación de SIG en la ciudad de Villavicencio en el sector cerro de Buenavista. Journal of Chemical Information and Modeling, 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Guedjeo, S. C., Kagou Dongmo A., Wotchoko, P., D., N., M., C., Buma, W., & K., K. (2017). Landslide Susceptibility Mapping and Risk Assessment on the Bamenda Mountain (Cameroon Volcanic Line). Journal of Geosciences and Geomatics, 173–185.
<http://pubs.sciepub.com/jfs/5/6/3/index.html>

IDEAM. (2012). Metodología Para La Zonificación De Susceptibilidad General Del Terreno a Los Movimientos En Masa. Bogotá, 1(20), 3527110–3527160. www.ideam.gov.co

INGEOMINAS. (2010). Susceptibilidad Y Amenaza Relativa Por Movimientos En Masa.

Instituto de Hidrología Metereología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). (2014). Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. 48.
<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>

Instituto de Investigaciones en Geociencias, M. y Q. (2014). pagina @ gestiondelriesgo.gov.co. Sistema Nacional de Información Para La Gestión Del Riesgo de Desastres.

Manrique, A. (2016). Movimientos En Masa. Alcaldía de Medellín, 1, 25.

Parra, A. J. R., & INGEOMINAS. (2001). Memoria explicativa de la geología del departamento del Meta. 68.

Regmi, N. R., Giardino, J. R., & Vitek, J. D. (2010). Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA. Geomorphology, 115(1–2), 172–187.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.10.002>

Rincón Carrera, E. (n.d.). SIAT-AC. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
http://siatac.co/web/guest/productos/coberturasdelatierra/fichasdepatrones?p_p_id=54_INSTANCE_K1kl&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&_54_INSTANCE_K1kl_struts_action=%2Fwiki_display%2Fview&_54_INSTANCE_K1kl_

Rodríguez Valdivia, Alan, Tapia Tosetti, A., & Albornoz Espinoza, C. (2004). SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS EN MASA EN EL VALLE DE SOCOROMA,



PRECORDILLERA ANDINA DE ARICA Y PARINACOTA. *Diálogo Andino*, 25–39.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000053>

Rojas Suarez, J. (2016). Modelo De Susceptibilidad a Movimientos De Masa En El Eje Cafetero. 119–183.

Sarmiento Linares, P. A. (2017). Desarrollo y análisis de zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa: uso y evaluación del método heurístico del proceso de análisis jerárquico y comparación de criterios adecuados [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. In IGAC. https://ciaf.igac.gov.co/sites/ciaf.igac.gov.co/files/files_ciaf/Sarmiento-Linares-Paula-Alejandra.pdf

Servicio Geológico Colombiano. (2017). Guía Metodológica para la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:25000. <https://doi.org/10.1002/chem.201301917>

Servicio Geológico Colombiano. (2020). SIMMA. <http://simma.sgc.gov.co/#/public/results/>

Social, M. de S. y P., & Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2017). Resolución 0549 del 2017. 39. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/ResolucionNo.0549de2017.pdf

Tao, C., Ruiqing, N., & Jia, X. (2016). A comparison of information value and logistic regression models in landslide susceptibility mapping by using GIS. *Environmental Earth Sciences*, 867 – 882 [file:///C:/Users/CHIRRI%202019/Downloads/.https://doi.org/10.1007/s12665-016-5317-y](https://doi.org/10.1007/s12665-016-5317-y)

ULLOA MELO, C. (1988). Excursión geológica Bogotá- Villavicencio- Acacias (Ingeominas (ed.)). Tercer Congreso Colombiano de IPetróleo.

Vallejo, D. (2002). Análisis De La Susceptibilidad a Los Movimientos De Ladera Mediante Un Sig En La Cuenca Vertiente De Rules, Granada. figura 11, 15–27.

Van Zuidam, R. (1987). Aerial Photo Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphological Mapping. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, 153 N.3, 428–429.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS VILLAVICENCIO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ANEXOS

Anexo A

Tabla de inventario de información secundaria de la microcuenca Caño Pendejo.

Tabla 10. *Inventario de Información.*

Tipo de entidad	Nombre de la entidad	Tipo de información secundaria
Pública	Gestión del Riesgo de Villavicencio	Bases de datos (DEM) y Ortofotomosaico.
Pública	Alcaldía de Villavicencio	Informe del Plan de Ordenamiento Territorial (POT)
Pública	Comité Empresarial Acueducto y Alcantarillado Montecarlo Alto	Información de emergencias por movimientos en masa, a partir de fotografías digitales y entrevistas a la representante legal del acueducto.
Pública	Corporación para el desarrollo sostenible del área de manejo especial de la Macarena (CORMACARENA)	Concepto Técnico de seguimiento y control al fenómeno de remoción en masa presente en Caño Pendejo, en los periodos de tiempo de 2005,2008 y 2010.
Pública	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)	Base de datos de las estaciones meteorológicas cercanas a la microcuenca (Acacias, Unillanos, Manzanares, Sena, Alcaldía, Aeropuerto Vanguardia, Acueducto La Esmeralda, Servitá, Susumuco)
Pública	Servicio Geológico Colombiano (SGC) (SIMMA)	Información de movimientos en masa en base de datos y Mapa de movimientos en masa.
Pública	Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC)	Mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa y Memoria explicativa de la Plancha 266.
Pública	SASPlanet	Fotografía aérea.
Pública	Google Earth	Fotografía aérea.

Nota: Recopilación de información de fuentes externas, por Gallo y Romero, 2020.



ANEXO B

Mapa de inventario de procesos morfodinámicos de la microcuenca Caño Pendejo, registrados en el SIMMA.

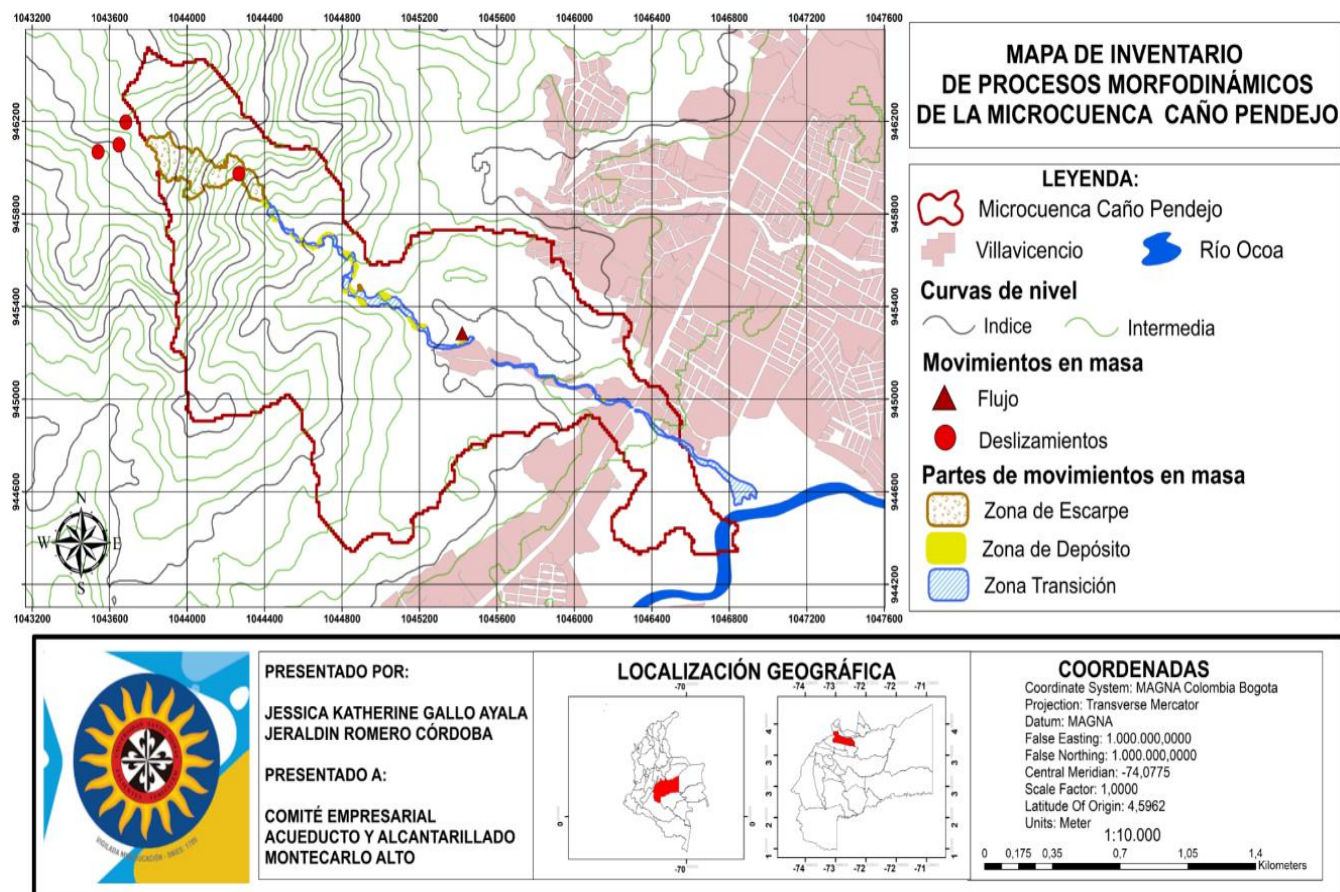


Figura 7. Mapa de inventario de procesos morfodinámicos de la microcuenca Caño Pendejo, por Gallo y Romero, 2020.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS VILLAVICENCIO

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ANEXO C

Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca Caño Pendejo.

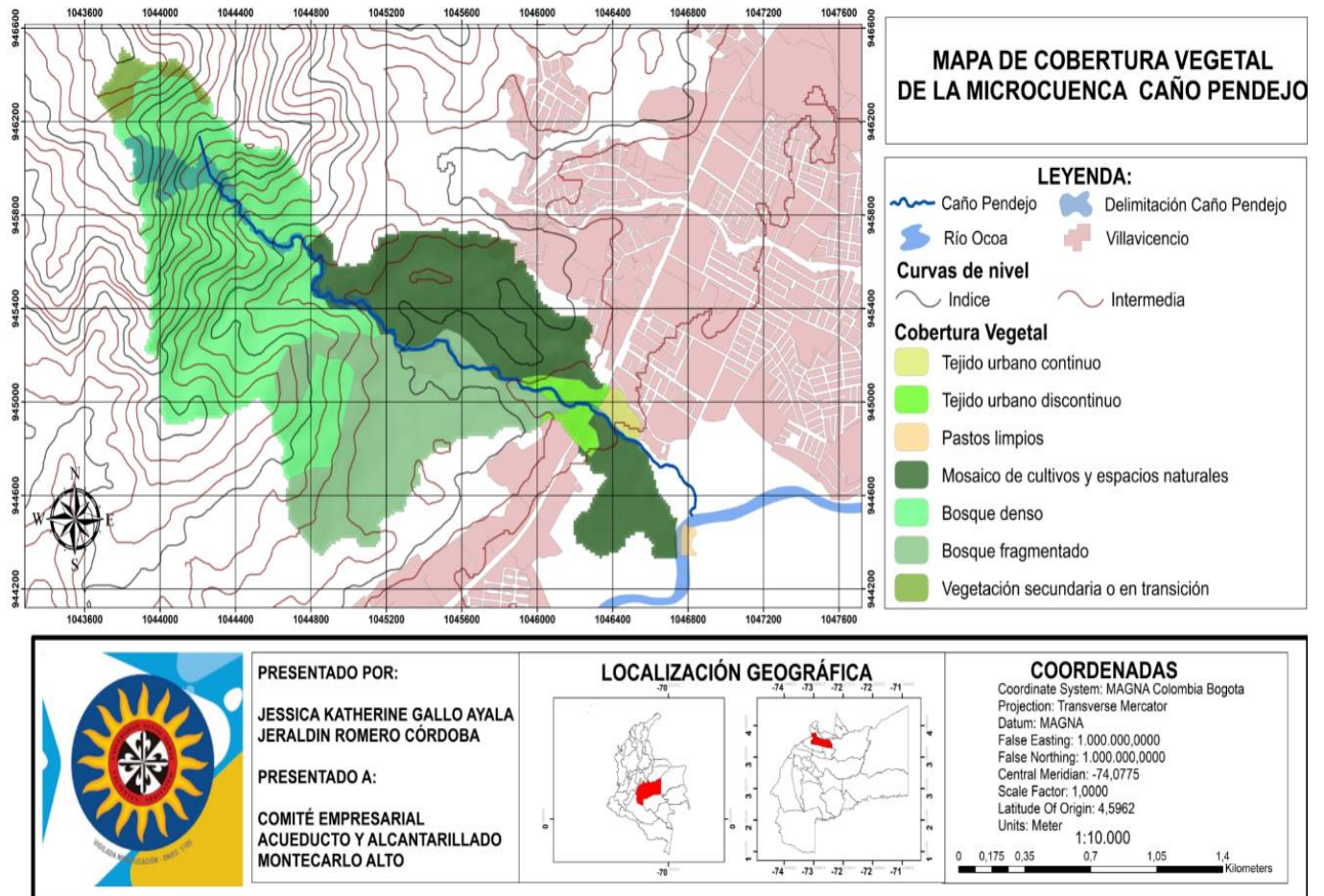


Figura 8. Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca Caño Pendejo, por Gallo y Romero, 2020.



ANEXO D

Mapa de cambio de cobertura vegetal del periodo de tiempo de 2012 y 2019, de la microcuenca Caño Pendejo.

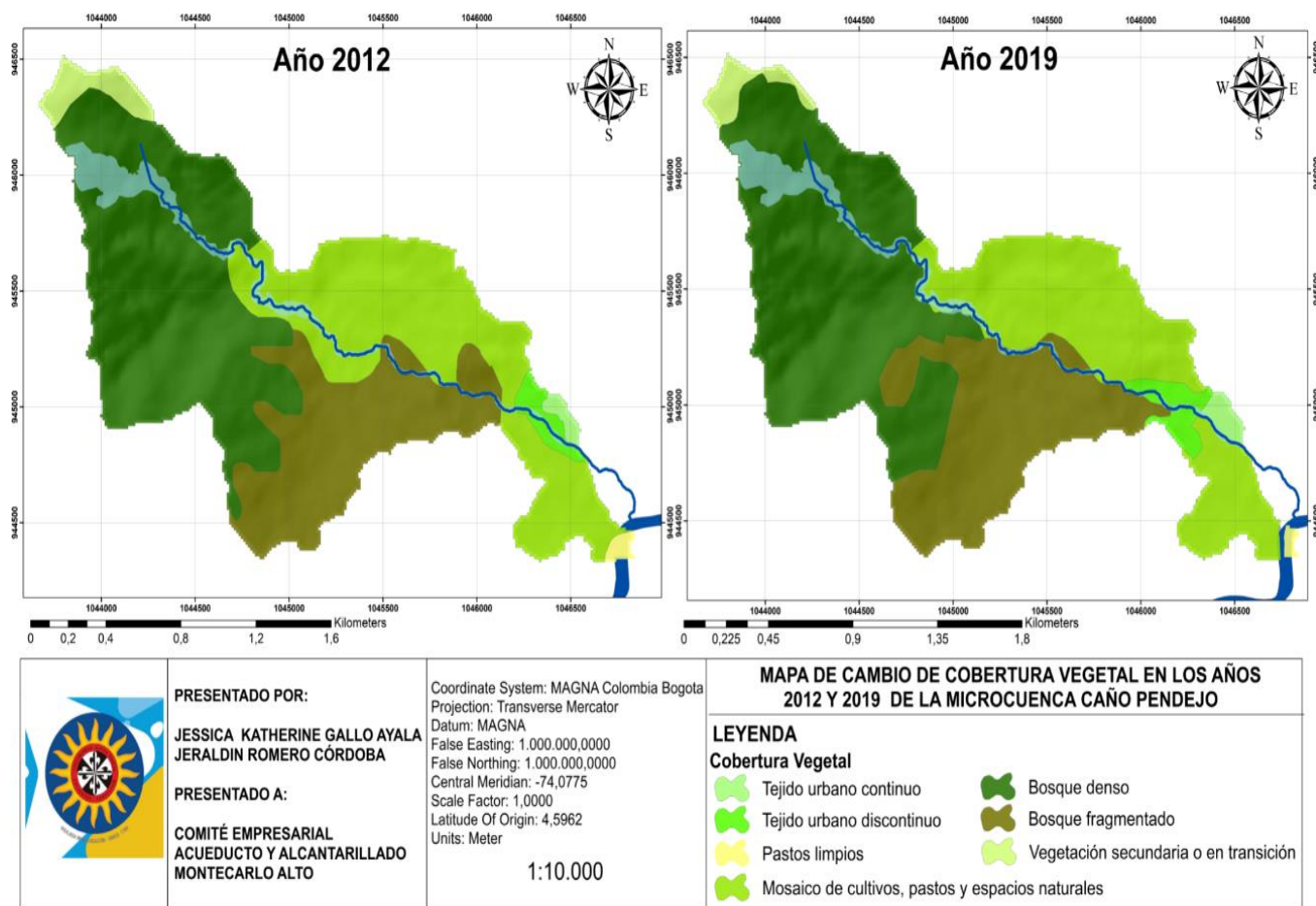


Figura 9. Mapa de cambio de cobertura vegetal de los años 2012 y 2019, de la microcuenca Caño Pendejo, por Gallo y Romero, 2020.



ANEXO E

Mapa de curvatura de la microcuenca Caño Pendejo.

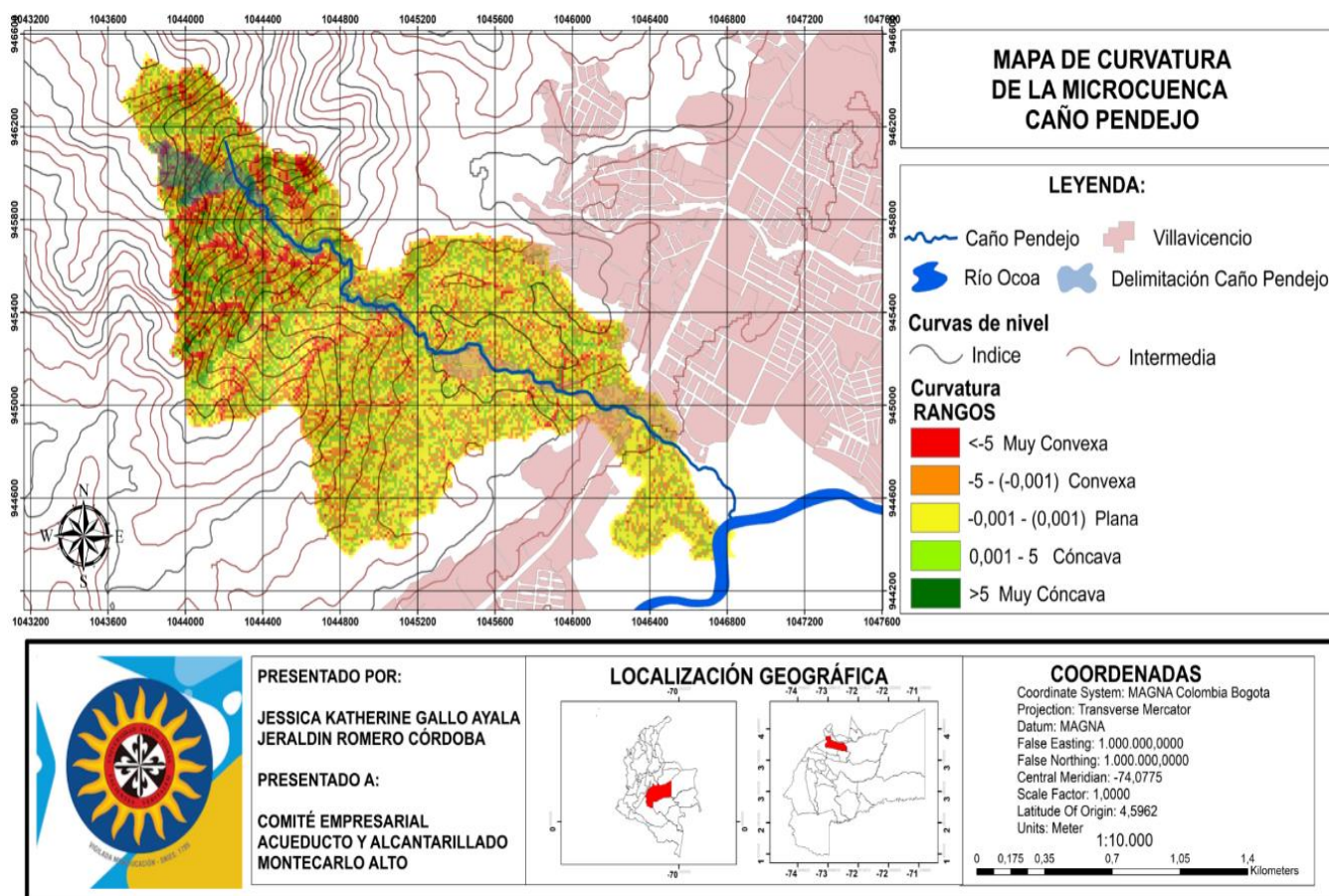


Figura 10. Mapa de curvatura de la microcuenca Caño Pendejo, por Gallo y Romero, 2020.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS VILLAVICENCIO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ANEXO F

Mapa de distancia de drenajes de la microcuenca Caño Pendejo.

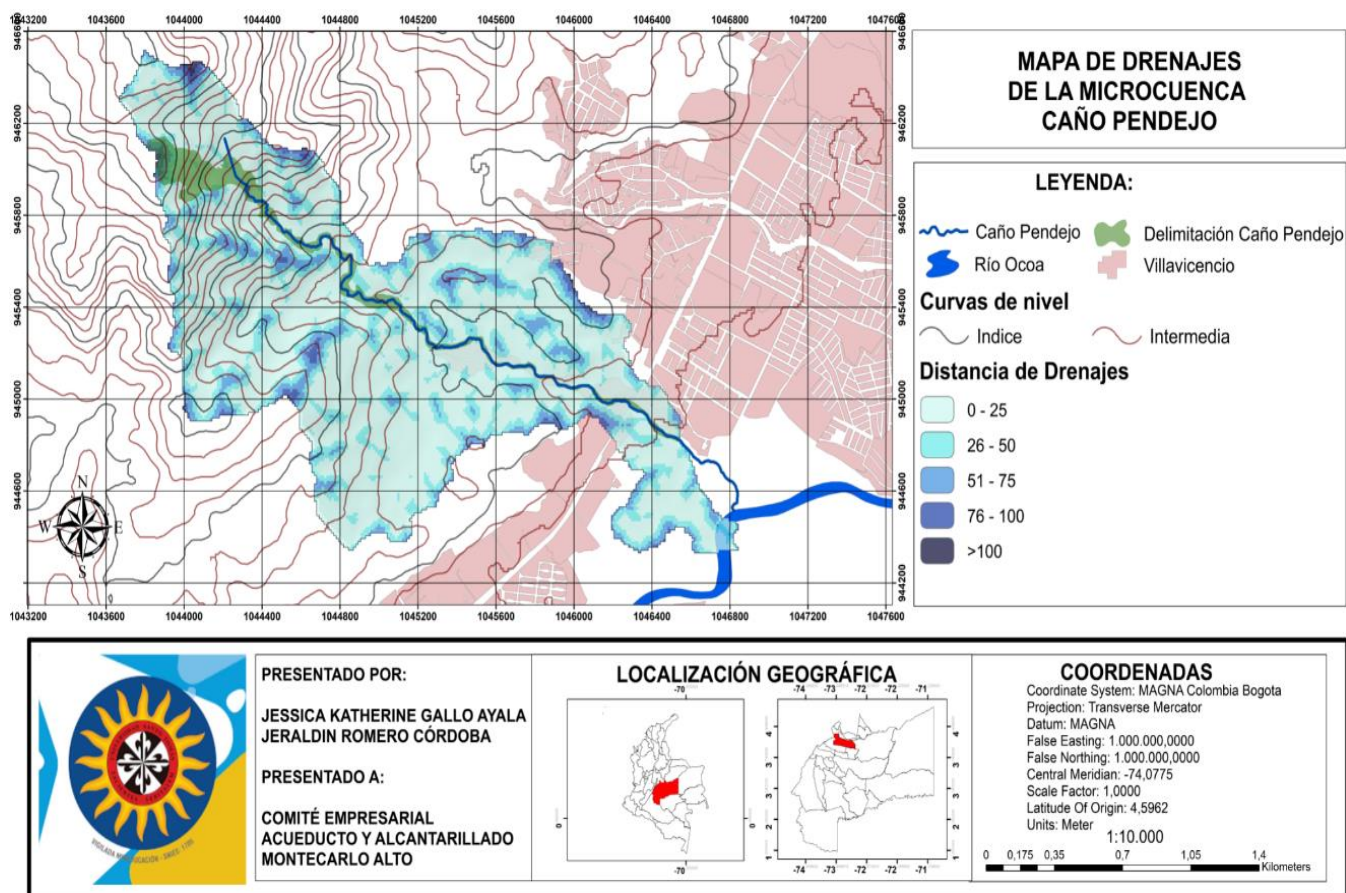


Figura 11. Mapa de distancia de drenajes de la microcuenca Caño Pendejo, por Gallo y Romero, 2020.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS VILLAVICENCIO

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ANEXO G

Mapa de relieve relativo de la microcuenca Caño Pendejo.

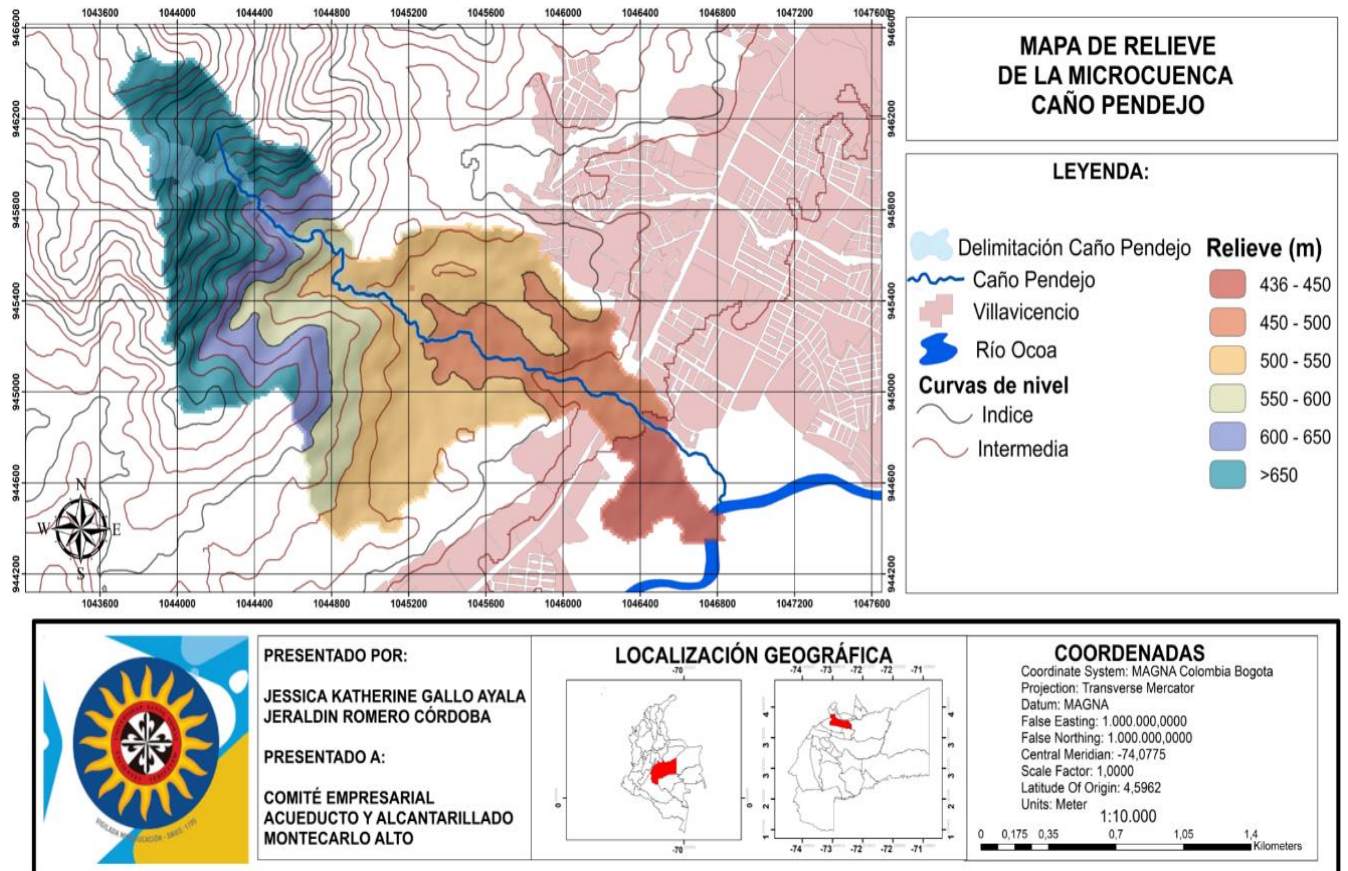


Figura 12. Mapa de relieve de la microcuenca Caño Pendejo, por Gallo y Romero, 2020.



ANEXO H

Mapa geológico de la microcuenca Caño Pendejo.

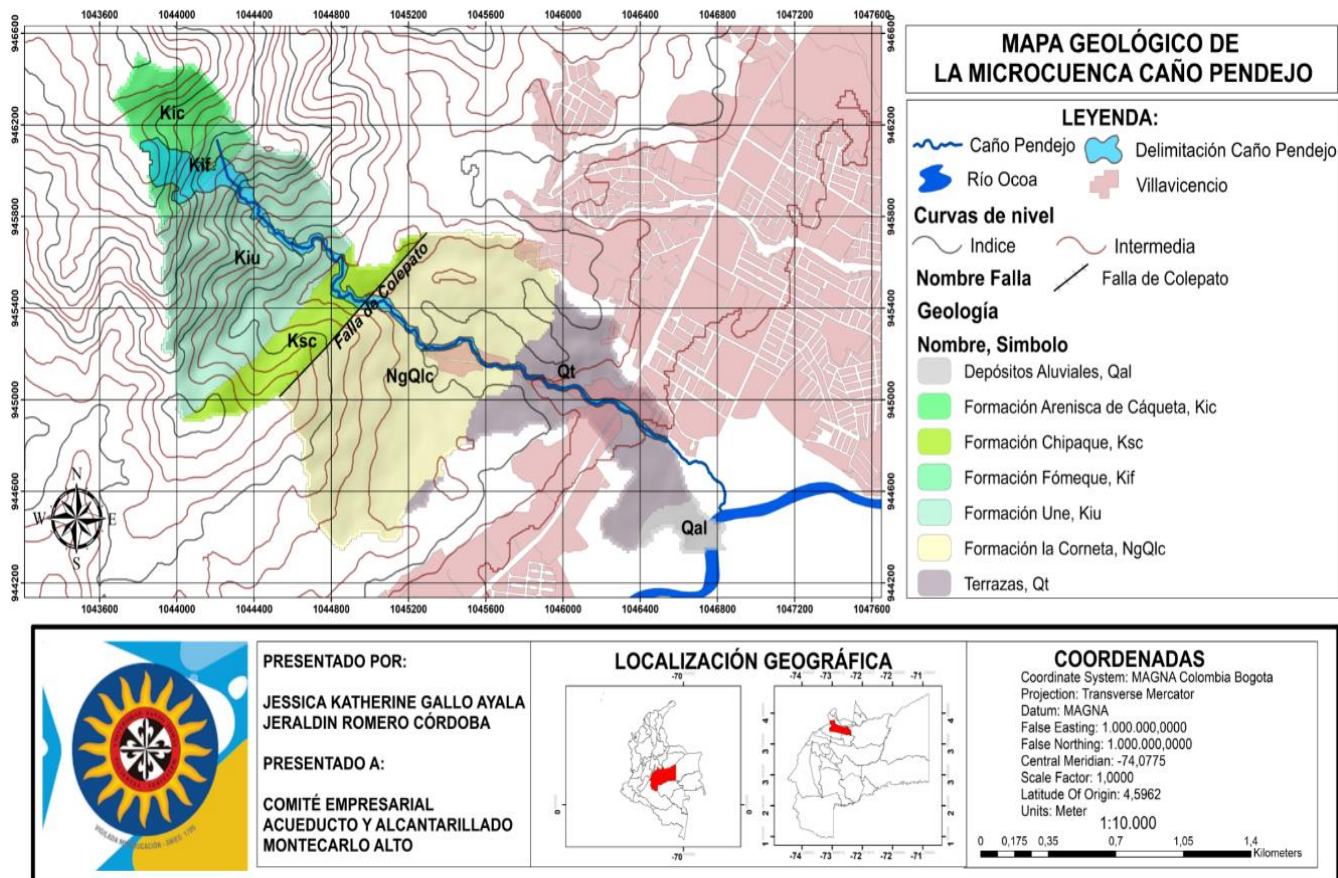


Figura 13. Mapa geológico de la microcuenca caño Pendejo, por Gallo y Romero, 2020.

ANEXO I

Tabla de unidades geológicas de la microcuenca Caño Pendejo.

Tabla 11. Unidades geológicas.

FACTOR (gridcode)	UNIDAD	AREA (ha)	% AREA
1	Formación Arenisca de Cáqueza	19,234375	6,6%
2	Formación Fómeque	9,312500	3,2%
3	Formación Une	70,765625	24,5%
4	Formación Chipaque	23,031250	8,0%
5	Formación la Corneta	111,562500	38,6%
6	Terrazas	49,046875	16,9%



Nota: Unidades geológicas del mapa de la microcuenca caño Pendejo, por Gallo y Romero, 2020.

ANEXO J

Mapa geomorfológico de la microcuenca Caño Pendejo.

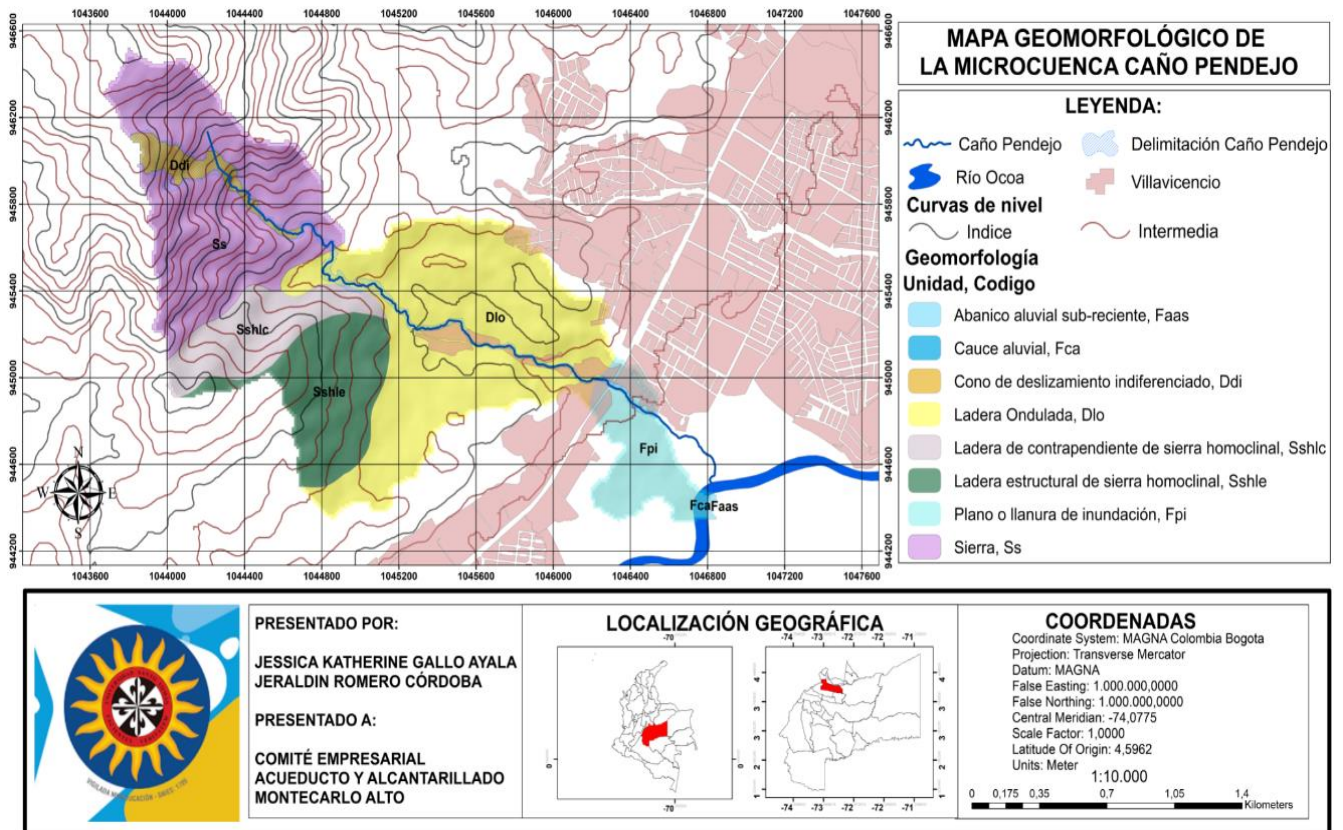


Figura 14. Mapa geomorfológico de la microcuenca caño Pendejo, por Gallo y Romero, 2020.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS VILLAVICENCIO

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ANEXO K

Mapa de curvas de nivel de la microcuenca Caño Pendejo.

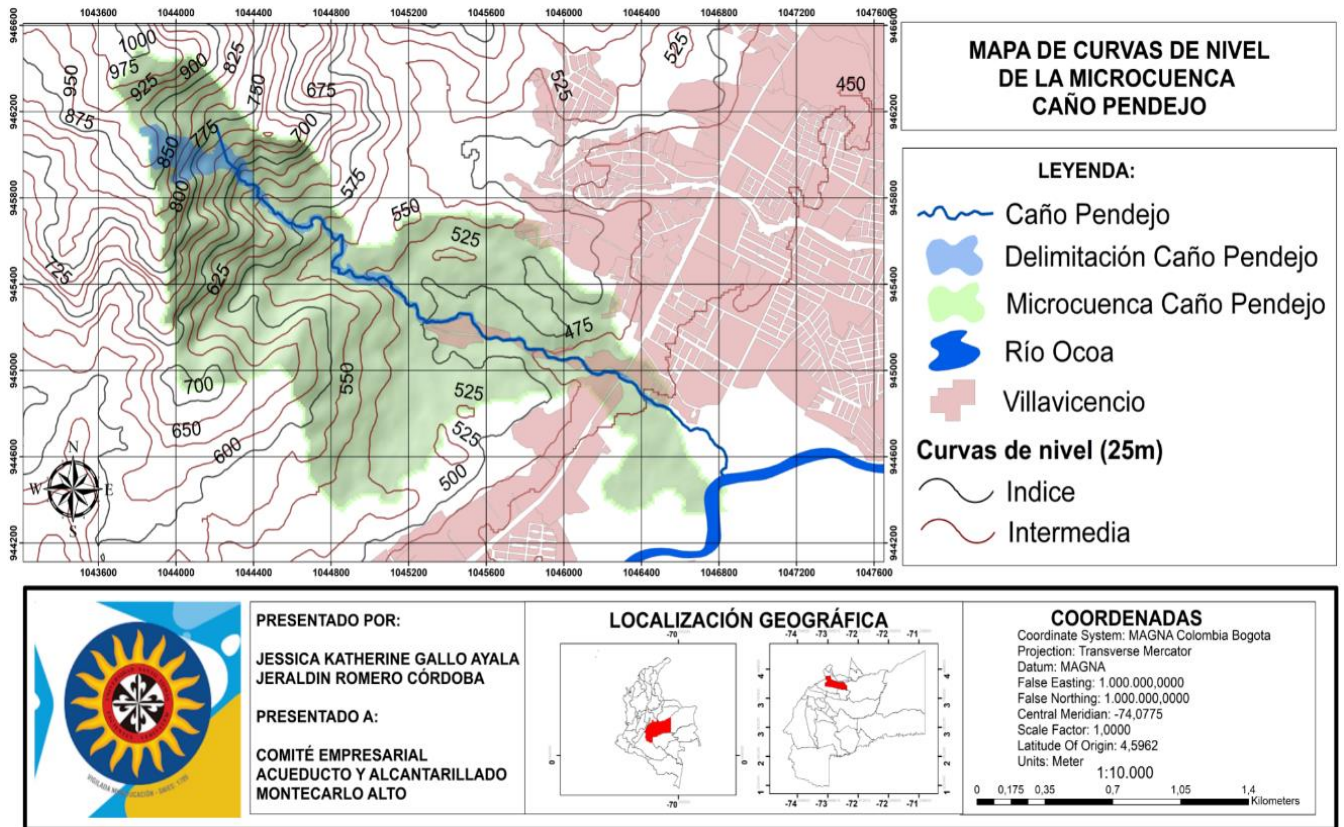


Figura 15. Mapa curvas de nivel, por Gallo y Romero, 2020.



ANEXO L

Tabla de pendientes de la microcuenca Caño Pendejo

Tabla 12. Áreas de los rangos de pendientes.

FACTOR (gridcode)	RANGO (°)	DESCRIPCIÓN	AREA (ha)	% AREA
1	0-2	Plano a casi plano	16,0625	5,55%
2	2-4	Suavemente inclinado	23,28125	8,04%
3	4-8	Inclinado	55,296875	19,11%
4	8-16	Moderadamente abrupto	83,78125	28,95%
5	16-35	Abrupto	96,609375	33,38%
6	35-53	Muy abrupto	14,359375	4,96%

Nota: Tabla de pendientes de la microcuenca Caño Pendejo. Por Gallo y Romero, 2020.

ANEXO M

Mapa de pendientes de la microcuenca Caño Pendejo.

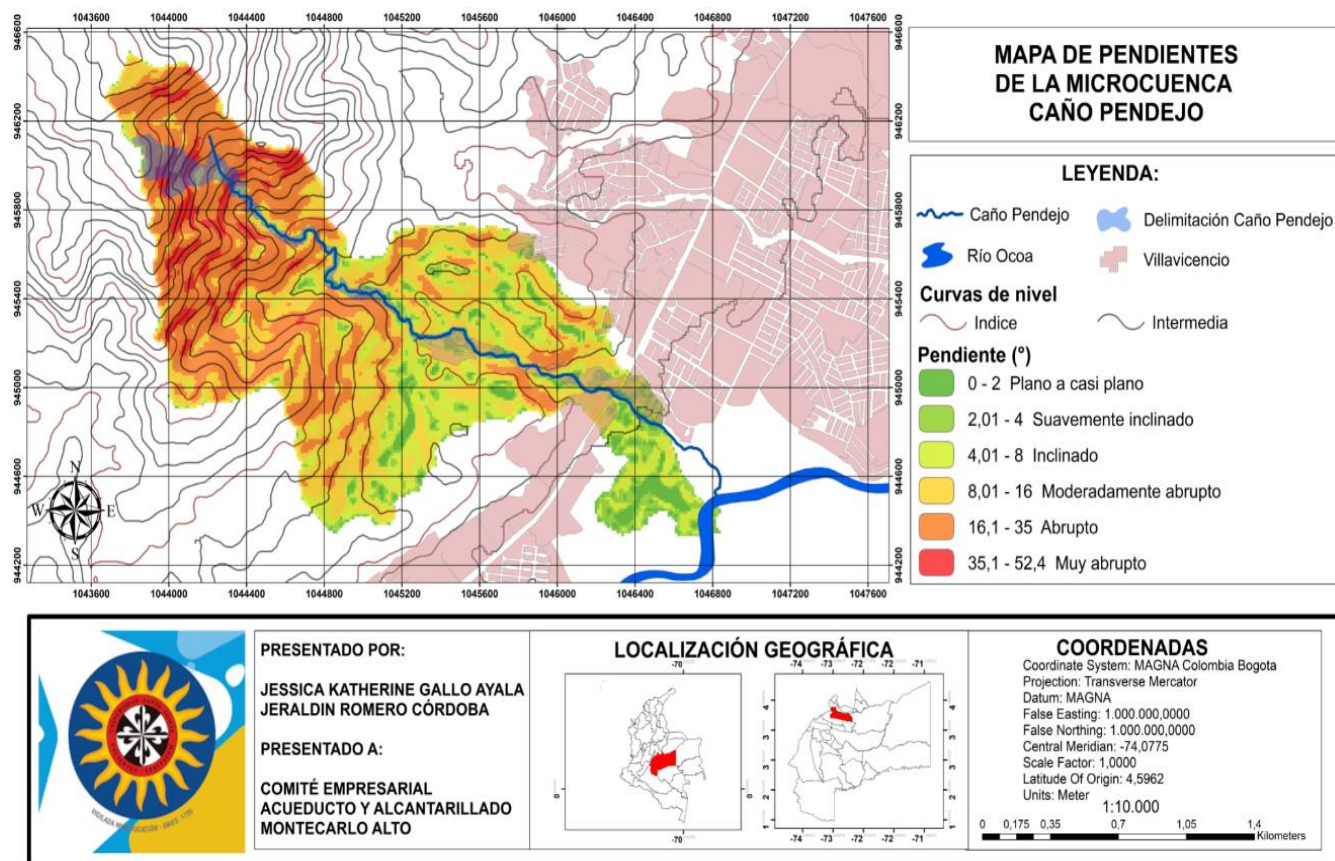


Figura 16. Mapa de pendiente, por Gallo y Romero, 2020.



ANEXO N

Mapa de suelos de la microcuenca Caño Pendejo.

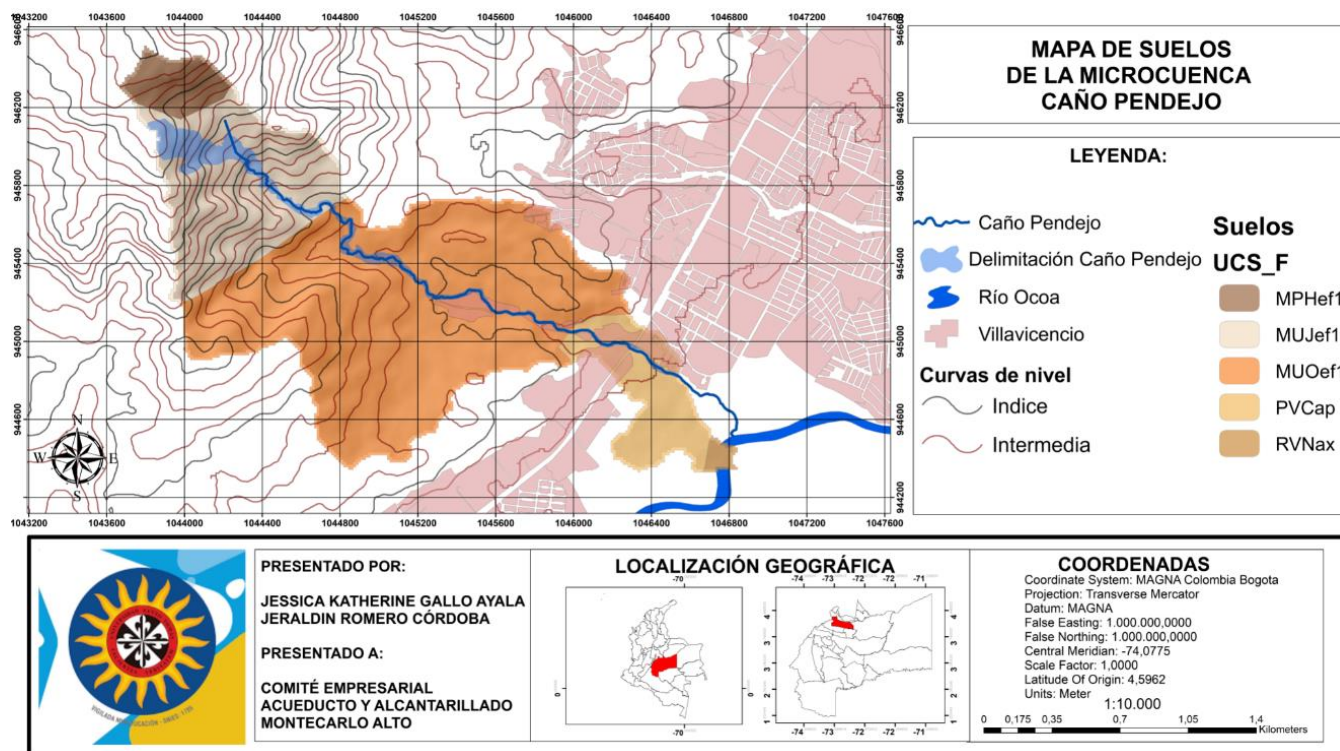


Figura 17. Mapa de suelos, por Gallo y Romero, 2020.

ANEXO Ñ

Tabla de suelos de la microcuenca Caño Pendejo.

Tabla 13. Área de las unidades cronoestratigráficas.

FACTOR (gridcode)	UNIDAD	LITOLOGÍA	AREA (ha)	% AREA
1	MPHef1	Arcillolitas con inclusiones de esquistos	13,09375	4,52%
2	MUJef1	Esquistos, filitas y conglomerados brechados	65,859375	22,76%
3	MUOef1	Areniscas y arcillolitas intercaladas	177,359375	61,29%
4	PVCap	Sedimentos mixtos aluviales que recubren depósitos de cantos y gravas bastante alterados	30,890625	10,67%
5	RVNax	Depósitos mixtos aluviales	2,1875	0,76%

Nota: Tabla de las unidades cronoestratigráficas, por Gallo y Romero, 2020.



ANEXO O

Mapa de precipitación de la microcuenca Caño Pendejo.

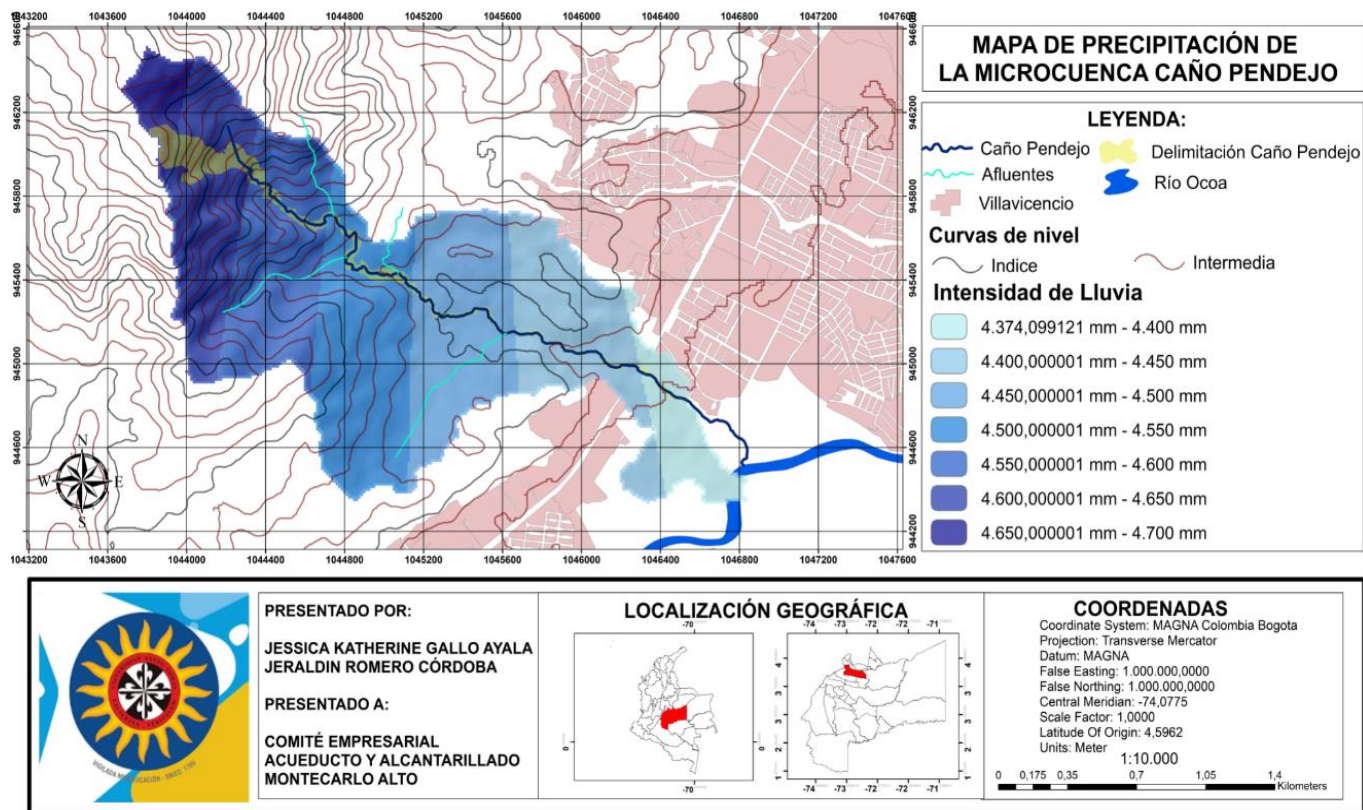


Figura 18. Mapa de precipitación, por Gallo y Romero, 2020.

ANEXO P

Tabla de intervalos de intensidad de lluvia de la microcuenca Caño Pendejo.

Tabla 14. Área de los intervalos de intensidad de lluvia.

FACTOR (gridcode)	INTERVALO (mm)	AREA (ha)	% AREA
1	4.374 - 4.400	19,921875	6,9%
2	4.400 - 4.450	46,828125	16,2%
3	4.450 - 4.500	54,125000	18,7%
4	4.500 - 4.550	60,984375	21,1%
5	4.550 - 4.600	50,390625	17,4%
6	4.600 - 4.650	46,234375	16,0%
7	4.650 - 4.700	10,906250	3,8%

Nota: Tabla de los intervalos de intensidad de lluvia, por Gallo y Romero, 2020.



ANEXO Q

Mapa de sismos registrados en el boletín de sismicidad, por SGC.

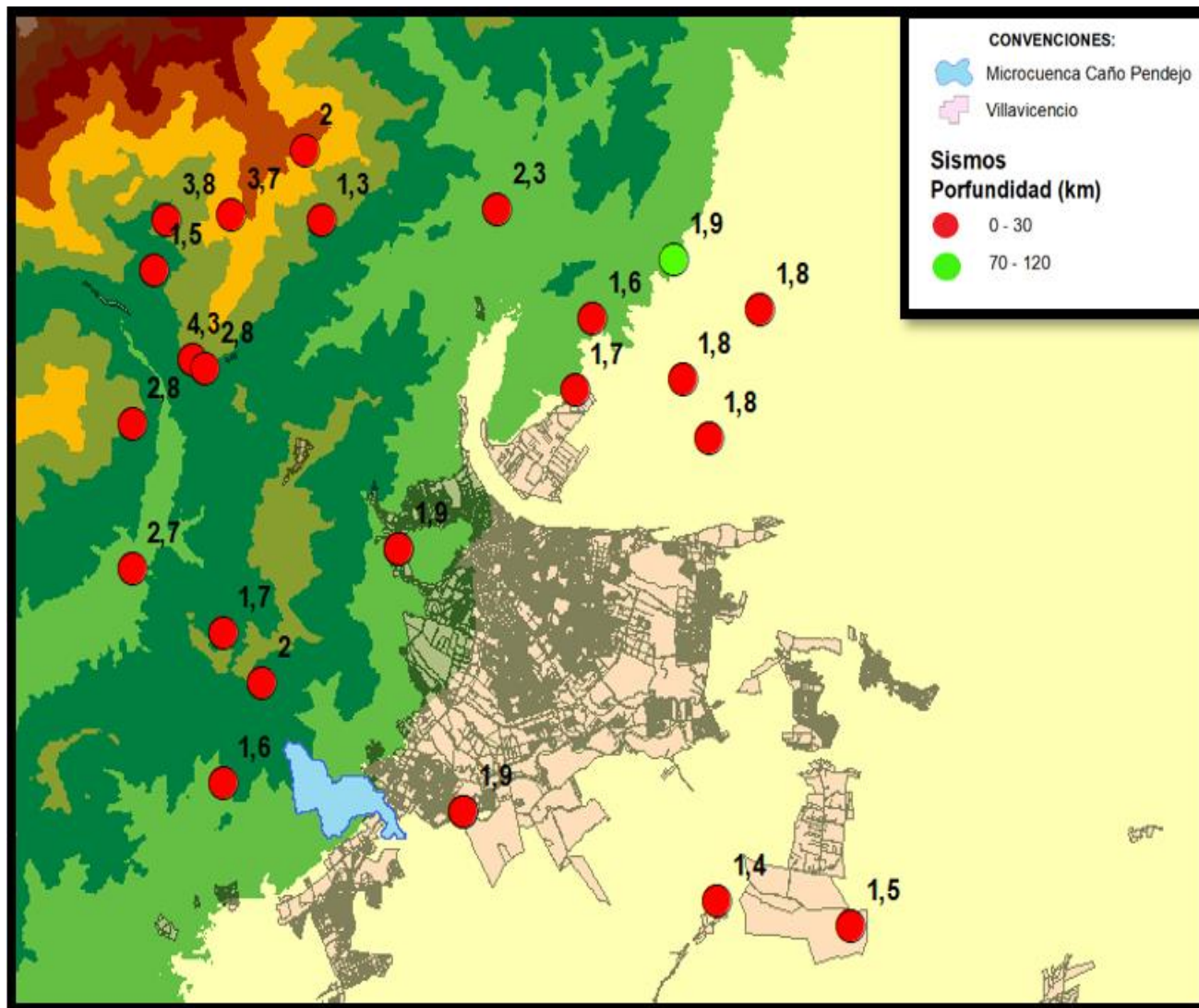


Figura 19. Mapa de sismos registrados por SGC, adaptado por Gallo y Romero, 2020.



ANEXO R

Tabla de sismos registrados.

Tabla 15. *Sismos registrados en el boletín de sismicidad.*

Fecha	Hora	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Profundidad (km)	Magnitud (ml)	# fases
31/05/2000	02:07:33	4.217	-73.711	1.3	3.8	8
8/10/2001	21:42:09	4.209	-73.593	109.0	1.9	3
12/06/2010	14:22:44	4.218	-73.696	2.4	3.7	14
18/06/2010	06:54:13	4.147	-73.719	13.6	2.7	12
6/07/2010	12:47:02	4.151	-73.657	23.2	1.9	5
7/01/2011	17:27:19	4.173	-73.585	10.1	1.8	4
30/01/2011	08:17:13	4.199	-73.573	4.0	1.8	8
30/01/2011	08:41:01	4.197	-73.612	9.6	1.6	5
19/04/2011	12:39:30	4.098	-73.642	20.0	1.9	4
21/04/2011	00:30:03	4.183	-73.616	2.9	1.7	5
13/07/2011	21:24:17	4.104	-73.698	0.0	1.6	4
2/10/2011	00:55:18	4.080	-73.583	34.0	1.4	4
13/06/2012	12:11:44	4.185	-73.591	4.0	1.8	4
13/06/2013	10:55:54	4.219	-73.634	0.0	2.3	8
9/07/2013	23:16:23	4.124	-73.689	4.1	2.0	9
9/11/2013	07:51:09	4.134	-73.698	3.1	1.7	6
12/06/2014	06:30:41	4.189	-73.705	0.1	4.3	28
15/08/2014	07:51:48	4.217	-73.675	12.8	1.3	4
23/12/2014	23:50:21	4.231	-73.679	0.0	2.0	14
20/08/2015	06:24:32	4.075	-73.552	1.1	1.5	8
6/01/2016	00:24:43	4.207	-73.714	0.0	1.5	9
4/02/2016	14:07:40	4.187	-73.702	0.0	2.8	20
21/03/2017	07:37:44	4.176	-73.719	0.0	2.8	23
19/03/2018	22:15:27	4,165	-73,683	0	1,3	13
24/03/2018	16:41:34	4,058	-73,645	-0,18	2,2	18
24/07/2018	21:49:11	4,195	-73,704	13,71	0,9	17
24/07/2018	23:01:40	4,114	-73,695	11,44	0,6	16
26/07/2018	20:05:13	4,199	-73,715	10,9	1	17
28/07/2018	6:04:00	4,114	-73,676	10	1,3	23
17/08/2018	7:58:59	4,083	-73,763	-0,14	2,1	47
17/09/2018	10:07:17	4,118	-73,734	-0,4	1,7	20
19/11/2018	0:28:38	4,151	-73,638	-0,21	1,1	9
29/04/2019	22:24:12	4,253	-73,719	4,84	1,9	13
31/08/2019	14:41:48	4,165	-73,567	6,11	2,2	24
22/12/2019	4:33:00	4,045	-73,477	19,44	1,8	9
24/12/2019	20:35:39	4,117	-73,636	-0,2	1,8	11
1/01/2020	15:04:52	4,089	-73,582	11,32	1,1	10
8/01/2020	17:31:04	4,065	-73,635	32,78	1,1	10
12/01/2020	16:13:09	4,224	-73,648	0,6	1,1	10
24/04/2020	14:45:27	4,012	-73,556	13,05	1	10
1/06/2020	9:35:37	4,23	-73,681	5,28	1,6	13

Nota: Tabla de sismos registrados por el SGC, adaptado por Gallo y Romero, 2020.



ANEXO S

Tabla de datos obtenidos por el método valor de la información.

Tabla 16. Datos método valor de la información.

Tabla 19 Datos metodo Valor de la Informacion									
Factor		Id	Clase	Ncpix	Nslpix	Cp	Pp	Cp/Pp	Valor Información
FACTORES CONDICIONANTES	PENDIENTES	1	0-2	1028	1	0,000973	0,024945	0,038997	-1,408971
		2	2-4	1490	3	0,002013	0,024945	0,080716	-1,093043
		3	4-8	3539	18	0,005086	0,024945	0,203899	-0,690586
		4	8-16	5362	56	0,010444	0,024945	0,418681	-0,378116
		5	16-35	6183	271	0,043830	0,024945	1,757084	0,244793
		6	35-53	919	113	0,122960	0,024945	4,929302	0,692785
	RELIEVE	1	436 -450	1293	0	0	0,024945	0	0
		2	450 - 500	2667	0	0	0,024945	0	0
		3	500 - 550	5703	2	0,000351	0,024945	0,014059	-1,852051
		4	550 -600	2179	0	0	0,024945	0	0
		5	600 - 650	1879	0	0	0,024945	0	0
		6	>650	4800	460	0,095833	0,024945	3,841838	0,584539
	CURVATURA	1	<-5	2	0	0	0,024945	0	0
		2	-5 - (-0,001)	7249	225	0,031039	0,024945	1,244305	0,094927
		3	-0,001 - (0,001)	3741	24	0,006415	0,024945	0,257185	-0,589754
		4	0,001 - 5	7528	213	0,028294	0,024945	1,134286	0,054722
		5	>5	1	0	0	0,024945	0	0
	GEOLÓGICO	1	Formación Arenisca de Cáqueza	1231	152	0,123477	0,024945	4,950032	0,694608
		2	Formación Fómeque	596	186	0,312081	0,024945	12,510917	1,097289
		3	Formación Une	4529	122	0,026938	0,024945	1,079891	0,033380
		4	Formación Chipaque	1474	2	0,001357	0,024945	0,054394	-1,264445
		5	Formación la Corneta	7140	0	0	0,024945	0	0
		6	Terrazas	3139	0	0	0,024945	0	0
		7	Depósitos Aluviales	412	0	0	0,024945	0	0
	GEOMORFOLÓGICO	1	Cauce aluvial	66	0	0	0,024459	0	0
		2	Abanico aluvial sub-reciente	20	0	0	0,024459	0	0
		3	Ladera estructural de sierra homoclinal	2298	0	0	0,024459	0	0
		4	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	1683	0	0	0,024459	0	0
		5	Plano o llanura de inundación	1618	0	0	0,024459	0	0



FACTOR DETONANTE	COBERTURA	6	Ladera Ondulada	7224	2	0,000277	0,024459	0,011319	-1,946182
		7	Cono de deslizamiento indiferenciado	488	398	0,815574	0,024459	33,344905	1,523029
		8	Sierra	5124	53	0,010343	0,024459	0,422895	-0,373767
		1	Tejido urbano discontinuo	453	0	0	0,024981	0	0
		2	Bosque fragmentado	4398	0	0	0,024981	0	0
		3	Pastos limpios	52	0	0	0,024981	0	0
		4	Tejido urbano continuo	180	0	0	0,024981	0	0
		5	Mosaico de cultivos y espacios naturales	4928	2	0,000406	0,024981	0,016246	-1,789252
		6	Vegetación secundaria o en transición	383	0	0	0,024981	0	0
		7	Bosque denso	8100	460	0,056790	0,024981	2,273326	0,356662
	SUELOS	1	Arcillolitas con inclusiones de esquistos	838	0	0	0,024945	0	0
		2	Esquistos, filitas y conglomerados brechados	4215	460	0,109134	0,024945	4,375047	0,640983
		3	Areniscas y arcillolitas intercaladas	11351	2	0,000176	0,024945	0,007063	-2,150982
		4	Sedimentos mixtos aluviales que recubren depósitos de cantos y gravas bastante alterados	1977	0	0	0,024945	0	0
		5	Depósitos mixtos aluviales	140	0	0	0,024945	0	0
	DISTANCIA DE DRENAJES	1	0-25	12318	325	0,026384	0,024945	1,057708	0,024366
		2	25-50	4262	60	0,014078	0,024945	0,564365	-0,248440
		3	50-75	1660	45	0,027108	0,024945	1,086743	0,036127
		4	75-100	253	27	0,106719	0,024945	4,278245	0,631266
		5	>100	28	5	0,178571	0,024945	7,158704	0,854834
	PRECIPITACIÓN	1	4.374 - 4.400	1275	0	0	0,024945	0	0
		2	4.400 - 4.450	2997	0	0	0,024945	0	0
		3	4.450 - 4.500	3464	0	0	0,024945	0	0
		4	4.500 - 4.550	3903	2	0,000512	0,024945	0,020543	-1,687346
		5	4.550 - 4.600	3225	48	0,014884	0,024945	0,596670	-0,224266
		6	4.600 - 4.650	2959	318	0,107469	0,024945	4,308287	0,634305
		7	4.650 - 4.700	698	94	0,134670	0,024945	5,398771	0,732295

Nota: Datos obtenidos del método valor de información, por Gallo y Romero, 2020.