

**CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA EN EL BARRIO BRIGHTON DEL
MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER A ESCALA 1:5000, COMO
INSUMO PARA LA DETERMINACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA**



**ALCALDIA DE
PAMPLONA**
Norte de Santander - Colombia



JOSÉ CAMILO JAUREGUI SIERRA

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA - GEOLOGÍA
FACULTAD DE CIEINCIAS BÁSICAS
VILLA DEL ROSARIO, NORTE DE SANTANDER**

2023

**CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA EN EL BARRIO BRIGHTON DEL
MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER A ESCALA 1:5000, COMO
INSUMO PARA LA DETERMINACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA**

JOSÉ CAMILO JAUREGUI SIERRA

**Trabajo de grado, modalidad práctica empresarial
presentado como registro para optar el título de
GEÓLOGO**

Director académico

ILICH SEBASTIÁN VILLAMIZAR SOLANO

Geólogo

Director Empresarial

MARIO SAUCEDO COLEY

Coordinador de gestión del riesgo y desastres

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA - GEOLOGÍA

FACULTAD DE CIEINCIAS BÁSICAS

VILLA DEL ROSARIO, NORTE DE SANTANDER

2023

Agradecimientos

En este espacio limitado, no podré expresar completamente el agradecimiento que siento hacia todas las personas que he conocido durante mi trayectoria universitaria, quienes me han nutrido de valores, virtudes y madurez que no poseía antes de conocerlos. En este momento crucial al presentar mi trabajo de grado, quisiera mencionar a aquellos que considero más relevantes.

En primer lugar, agradezco siempre a Dios, seguido por mis abuelos, quienes ya no están conmigo, por sus enseñanzas y consejos a lo largo de mi vida. A mi mamá, agradezco ser el motor fundamental en mi desarrollo profesional. Reconozco el apoyo incondicional de mi papá y de mis amigos, en especial a Juan David, Mateo y Sebastián, quienes siempre han estado pendientes de mi progreso académico. También, agradezco a mi pareja por su constante respaldo en este arduo proceso, y a mi compañera de carrera, Dayana Hernández, por ser mi mentora en la realización de este proyecto.

Expreso mi gratitud por el tiempo que mis docentes dedicaron a compartir sus conocimientos conmigo, en especial al profesor Ilich, al profesor Eliecer y a la profesora Alejandra. Mil gracias por contribuir a mi formación como geólogo en esta prestigiosa universidad.

Tabla de Contenido

Resumen.....	7
Introducción	8
1. Objetivos	9
1.1 Objetivo General	9
1.2 Objetivos Específicos.....	9
2. Marco de Referencia	10
2.1 Localización del área de estudio	10
2.2 Marco geomorfológico.....	10
2.2.1 Ambiente antropogénico(A).....	11
2.2.2 Ambiente denudacional (D)	11
2.2.3 Ambiente estructural (S)	11
2.2.4 Ambiente Fluvial (F).....	11
2.3 Marco geológico.....	12
2.3.1 Geología regional	12
2.3.2 Geología local	12
2.3.3 Geología estructural local	12
3. Marco Teórico.....	13
3.1 Geomorfología	13
3.3 Cartografía geomorfológica	15
3.3.4 Nomenclatura	16
3.4 Movimientos en masa	16
4. Metodología	18
4.1 Etapa 1: recopilación y revisión bibliográfica.	18
4.2 Etapa 2: pre-campo e interpretación	20
Obtención de atributos cuantitativos.....	20
Mapa topográfico	20
Mapa de sombras:	20
Mapa de pendientes:.....	20
4.3 Etapa 3: campo.....	23
4.3.1 Elaboración del mapa.....	23
4.4 Etapa 4, informe final.....	23
5. Análisis y resultados	24

5.1 Geología	24
5.1.2 Formación Ortoneis (Pdo).....	25
5.1.3 Depósitos Cuaternarios (Q2al).....	25
5.2 Análisis morfométrico y morfológico	26
5.2.1 Pendientes	26
5.2.3 Curvatura.....	28
5.2.4 Orientación.....	30
5.3 Componente o elemento geomorfológico	31
5.3.1 Espolón moderado de longitud media (Sesbm)	33
5.3.2 Espolón bajo de longitud media.....	34
5.3.3 Canal artificial (Aca).....	35
5.3.6 Canal aluvial (Fca)	35
5.3.7 Ladera erosiva	36
5.3.8 Cono de flujo indiferenciado (Dft).....	37
5.3.9 Lomo denudacional (Dmo)	38
5.3.10 Ladera ondulada cóncava (Dloc)	38
5.4 Morfodinámica.....	40
5.4.1 Deslizamiento traslacional en suelo residual	40
5.4.2 Flujo de detritos	41
5.4.3 Reptación.....	43
5.4.4 Erosión antrópica y pluvial	44
6. Conclusiones	46
7. Recomendaciones.....	48
8. Referencias bibliográficas	49

Tabla de figuras

Figura1. Localización del área de estudio.....	10
Figura 2. Esquema de jerarquización geomorfológica propuesto para el levantamiento de mapas geomorfológicos analíticos.....	14
Figura 3. Esquema metodológico.....	18
Figura 4. Tipos de curvatura.....	22
Figura 5. Mapa geológico del área de estudio.....	24
Figura 6. Fotografía a detalle de la formación Ortoneis.....	26
Figura 7. Mapa de pendientes del área de estudio.....	27
Figura 8. Mapa de curvatura (vista de perfil).....	28
Figura 9. Mapa de curvatura (vista plana)).....	29
Figura 10. Mapa de curvatura (vista estándar.....	29

Figura 11. Mapa de orientación.....	30
Figura 12. Mapa de componentes geomorfológicos.....	32
Figura 13. Espolón moderado de longitud media.....	33
Figura 14. Escarpes y terracetas	33
Figura 15 Reptación del terreno.	33
Figura 16. Escarpes presentes en el espolón.....	34
Figura 17. Canal artificial.....	35
Figura 18. Aberturas del canal.....	35
Figura 19. Deslave en el años 2010.....	36
Figura 20. Laderas erosivas con presencia de salificación.....	37
Figura 21. Elementos geomorfológicos del ambiente denudacional.....	39
Figura 22. Ladera rectilínea del lomo.....	39
Figura 23. Escarpe que limita el ambiente estructural con el denudacional.....	39
Figura 24. Mapa de eventos morfodinámicos.....	45
Figura 25. Deslizamiento traslacional en suelo residual.....	41
Figura 26. Deslizamiento de tipo flujo y reptación.....	43
Figura 27. Erosión antrópica y pluvial.....	44

Lista de tablas

Tabla 1. Dimensiones de las Unidades de Cálculo del Terreno.....	15
Tabla 2. Tipos de movimientos en masa con más frecuencia en Colombia.	17
Tabla 3. Rangos de pendiente utilizados con propósitos de análisis de ingeniería y zonificación de amenazas por movimientos en masa.	21
Tabla 4. Rangos de orientación de las pendientes. Fuente. Autor	22
Tabla 5. Porcentaje de las pendientes en el área de estudio.....	27
Tabla 6. Tabla de porcentajes de los componentes geomorfológicos.....	31

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo la actualización de la cartografía geomorfológica a escala 1:5000 y la realización de un diagnóstico de los escenarios de riesgo por movimientos en masa en el área de estudio. La caracterización geomorfológica de esta zona servirá como insumo esencial para la Oficina de Gestión del Riesgo de Desastres del municipio de Pamplona, proporcionando una fuente de información detallada sobre el sector Brighton. Esta información podrá ser utilizada con propósitos específicos, como la evaluación de amenazas y riesgos naturales o la planificación territorial.

El objetivo principal de este trabajo consiste en la clasificación de los elementos geomorfológicos del barrio Brighton del municipio de Pamplona, determinando sus componentes morfológicos, morfométricos y morfodinámicos, así como su relación con los movimientos en masa presentes en la zona. La metodología se dividió en cuatro etapas: recopilación bibliográfica, precampo (con la elaboración de un mapa preliminar a partir de un modelo de elevación digital con resolución de 5 metros), campo (donde se recopilaron datos de los atributos mencionados anteriormente) y la elaboración del informe final junto con el mapa de componentes geomorfológicos.

En el área de estudio, se caracterizaron cuatro ambientes morfogenéticos: estructural, que presenta dos componentes geomorfológicos como consecuencia de la dinámica interna del planeta; denudacional, que presenta cuatro componentes en respuesta a los procesos meteorizantes y erosivos; fluvial, que comprende un componente moldeado por las corrientes de un cauce aluvial; y antropogénico, que representa un componente correspondiente a canales artificiales. Además, se identificaron tres tipos de movimientos en masa en la zona: traslacional en suelo residual, flujos y reptación.

Palabras clave: Geomorfología, componente geomorfológico, movimientos en masa.

Introducción

Los movimientos en masa engloban una amplia gama de fenómenos, como deslizamientos, desprendimientos de rocas, avalanchas y flujos de lodo. Estos eventos pueden ser desencadenados por diversos factores, incluyendo la saturación del suelo debido a lluvias intensas, actividad sísmica, erosión e intervención humana. Evaluar y catalogar el riesgo asociado a estos fenómenos es indispensable para los planes de desarrollo municipales, lo cual se logra a través de zonificaciones de movimientos en masa. Para ello, es esencial comprender la interacción entre los procesos geomorfológicos y las remociones en masa, permitiendo la evaluación de riesgos naturales, el diseño de medidas de mitigación y la promoción de la seguridad en áreas propensas a estos eventos.

El municipio de Pamplona, Norte de Santander, cuenta con un insumo de elementos geomorfológicos a escala 1:10.000, realizado en la modificación excepcional del Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) de 2015. Sin embargo, este carece de una descripción detallada de las geoformas caracterizadas. Con el objetivo de actualizar la cartografía geomorfológica a escala 1:5000 y realizar un diagnóstico de los escenarios de riesgo relacionados con movimientos en masa en el barrio Brighton, se lleva a cabo este trabajo. Se busca describir detalladamente cómo se presentan estas geoformas, utilizando atributos de morfología, morfometría y morfodinámica. El documento presenta la información recopilada durante las fases de pre-campo y campo, destinada a caracterizar las variables geomorfológicas. Este proceso se refleja en el producto final, el Mapa de Componentes Geomorfológicos, que se utiliza como insumo esencial para el análisis y la evaluación en el marco del ordenamiento territorial. La relevancia de este estudio radica en la necesidad inminente de desarrollar investigaciones, tales como la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa a una escala detallada. Estos estudios complementan las bases de la Planificación Territorial del municipio y contribuyen con información crucial para la oficina de gestión del riesgo y de desastres del municipio de Pamplona.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

- Caracterizar la geomorfología en el barrio Brighton del municipio de Pamplona, Norte de Santander a escala 1:5000, como insumo para la determinación de movimientos en masa

1.2 Objetivos Específicos

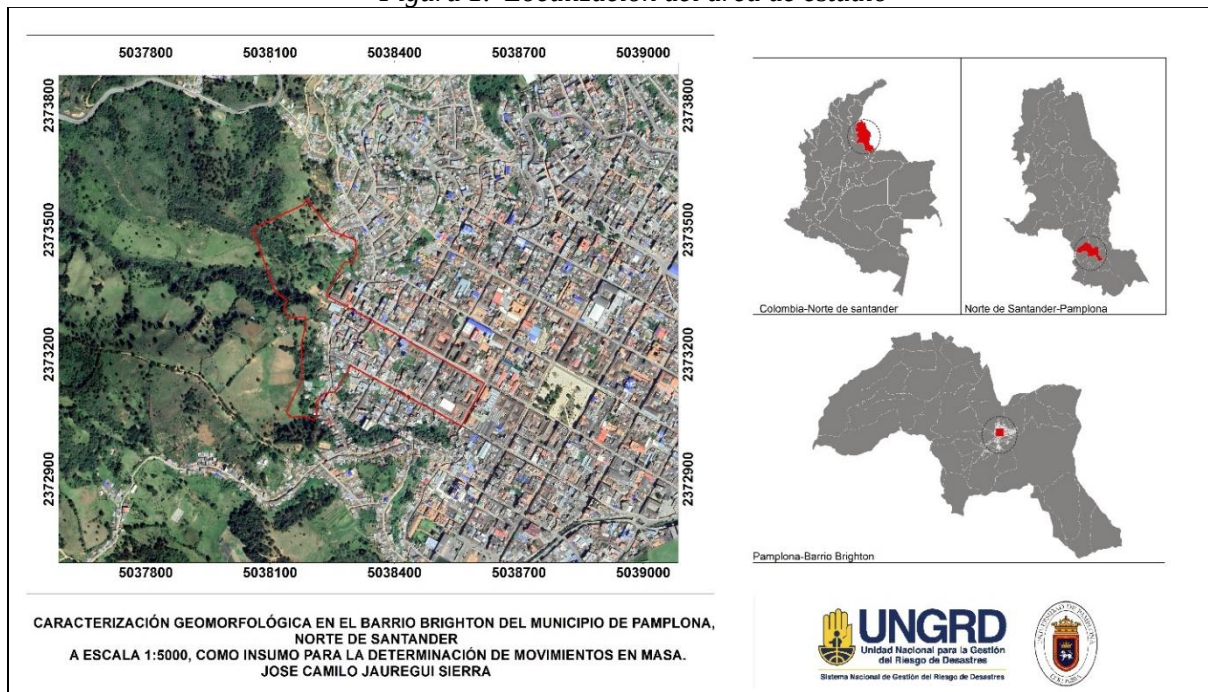
- Obtener información de campo sobre los parámetros morfológicos y morfométricos mediante la recolección de datos relacionados con atributos de morfometría y morfología.
- Caracterizar los componentes geomorfológicos a escala 1:5000 del barrio Brighton, siguiendo la guía del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y la propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica de Henry Carvajal.
- Determinar los componentes básicos geomorfológicos: morfología, morfometría y morfodinámica como parámetros para la elaboración y aplicación en el análisis por movimientos en masa a escala 1:5000.

2. Marco de Referencia

2.1 Localización del área de estudio

Pamplona es un municipio ubicado sobre la cordillera Oriental, al nororiente de Colombia, en el departamento de Norte de Santander (CMGRD, 2020). El área de estudio se ubica al occidente del casco urbano del municipio de Pamplona (figura 1) y corresponde al barrio Brighton, situado en la plancha geológica 110-Pamplona del Servicio Geológico Colombiano a escala 1:100.000. En esta zona afloran rocas de la formación Ortoneis, de edad precámbrica, y depósitos cuaternarios de tipo coluvial y aluvial. El área de estudio abarca 0.12 Km² (12 Hectáreas).

Figura 1. Localización del área de estudio



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth a través del software Arc Gis 10.5

2.2 Marco geomorfológico

Se describirá los ambientes y geoformas presentes en el área de estudio del municipio de Pamplona, Norte de Santander.

2.2.1 Ambiente antropogénico(A)

Corresponde a las formas del terreno, producto de la actividad del hombre que modifica la superficie terrestre, En la mayoría de las situaciones, con el fin de llevar a cabo proyectos de construcción de viviendas, obras de ingeniería, manejo de residuos o escombros, y la creación de nuevas vías, se efectúan modificaciones en la morfología natural del terreno (Carvajal, 2012).

2.2.2 Ambiente denudacional (D)

Está determinado por la actividad de los procesos erosivos hídricos y pluviales, estos procesos son el resultado de la meteorización, erosión y desplazamiento de materiales sobre formaciones geológicas preexistentes, que dan forma a la topografía y dejan vestigios de las unidades anteriores. Además, también contribuyen a la formación de nuevas geoformas a través de la acumulación de sedimentos (Carvajal, 2012).

2.2.3 Ambiente estructural (S)

Corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente la asociada a plegamientos y fallamientos, cuya expresión morfológica es definida por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades (Carvajal, 2012).

2.2.4 Ambiente Fluvial (F)

Incluye las geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre (S.G.C, 2013).

2.3 Marco geológico

A continuación, se mencionará la geología que caracteriza al municipio de Pamplona.

2.3.1 Geología regional

El municipio de Pamplona se caracteriza por la presencia de rocas cuyos sedimentos se depositaron en diferentes tipos de ambientes geológicos desde marino a continental, producto de los diferentes eventos geológicos a los que se ha visto sometida el área del municipio a través de la historia del Planeta Tierra. Las unidades geológicas presentes en el municipio están compuestas por un registro litológico muy importante, en su mayoría conformado por rocas sedimentarias con algunos afloramientos de rocas ígneas volcánicas y rocas metamórficas antiguas. La sucesión estratigráfica comprende rocas de diferentes edades y con diversa distribución (Alcaldía de Pamplona, 2015).

2.3.2 Geología local

De acuerdo con la cartografía elaborada por Ward D., Goldsmith, Cruz, Jaramillo, & Vargas (1973) de la plancha 110-PAMPLONA a escala 100.000 en el área de estudio afloran las unidades geológicas ordenadas de la más antigua a la más reciente Formación Ortoneis (PDo) y Depósitos cuaternarios (Q2al)

2.3.3 Geología estructural local

Estructuralmente el casco urbano de Pamplona se encuentra enmarcado en una zona de tectónica compresiva generada en la evolución de la cordillera Oriental, lo que produce estructuras como la Falla Pamplona, esta falla se extiende en el área de estudio desde el norte y continúa con dirección sur a sursuroeste (Ward, D. E., Goldsmith, R., Cruz, A., Restrepo, H., & Gómez, E., 1973).

3. Marco Teórico

3.1 Geomorfología

La Geomorfología estudia las formas del relieve terrestre y sus procesos de formación, las formas del terreno son el resultado de la interacción entre fuerzas endógenas, o procesos tectónicos y fuerzas exógenas, o procesos erosivos que modelan los relieves (Gutiérrez, 2004). Los procesos exógenos determinan los cambios de la superficie terrestre que contribuyen al remodelado y a la reducción de los relieves por la acción aislada de la meteorización física o química de las rocas, la erosión y el transporte de los materiales resultantes y de los fenómenos de remoción en masa. Estos procesos que destruyen o modifican las geoformas iniciales son, a la vez, constructores de nuevas formas del terreno mediante la sedimentación o el depósito de los materiales transportados, estableciéndose entonces un equilibrio denudación-acumulación, cuya estabilidad depende de la resistencia y el tipo de roca o sedimento, y la acción y el tiempo de duración de los agentes meteóricos propios de las condiciones climáticas prevalecientes (Carvajal, 2012).

Mencionado lo anterior, el objetivo principal de la cartografía y el análisis geomorfológico es registrar información de las formas del terreno, los materiales que las constituyen y los procesos superficiales que las afectan de tal manera que permitan la reconstrucción del relieve de una localidad (Carvajal, 2012).

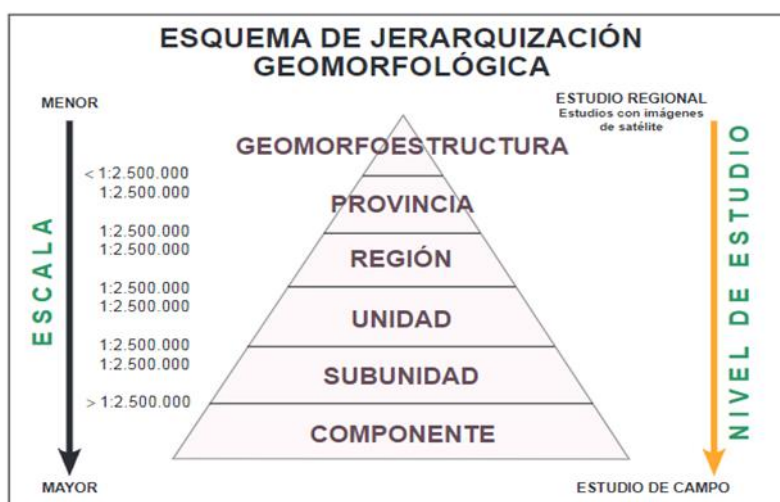
En el presente trabajo la escala propuesta es de 1:5000, lo cual requiere una cartografía geomorfológica detallada en lo referente a componentes o elementos geomorfológicos del área de estudio, con el objetivo de caracterizar las geoformas desde los siguientes componentes geomorfológicos: morfológico, morfométrico y morfodinámicos.

De acuerdo con Zuidam (1985), estos componentes se definen como:

- **Morfología:** Trata de la apariencia y forma del relieve en general.
- **Morfometría:** Trata de los aspectos cuantitativos de las geoformas. Medidas, dimensiones y valores.
- **Morfodinámica:** Estudia procesos activos en el presente o aquellos que se pueden activar en el futuro. Se refiere a la dinámica exógena relacionada con la actividad de agentes como el viento, agua, hielo y la acción de la gravedad terrestre, que modifica las geoformas preexistentes.

Tomando en cuenta lo anterior, según Velásquez (1999), Ingeominas (1999), Damen (1990), el componente geomorfológico corresponde al máximo nivel de detalle en los rasgos del relieve (escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas de valle), definidos en sitios puntuales y determinados por la morfometría detallada. Se trabaja en una escala $1 < 10.000$ (figura 2).

Figura 2. Esquema de jerarquización geomorfológica propuesto para el levantamiento de mapas geomorfológicos analíticos



Fuente: Tomado y modificado de Velásquez (1999), e Ingeominas (1999) y Carvajal (2002-2008).

3.3 Cartografía geomorfológica

Según Verstappen y Van Zuidam (1992), la elaboración de cartografía geomorfológica está orientada a proporcionar información concisa y sistemática sobre las formas del terreno y los procesos geomorfológicos que actúan sobre ellas. Así, los mapas geomorfológicos son herramientas útiles, que brindan conocimiento básico del terreno y permiten estructurar toda la información temática, enfocada en definir el comportamiento de los terrenos con aplicaciones diferentes, tales como evaluación de amenazas naturales, elaboración de planes de ordenamiento territorial, consideraciones acerca del planeamiento y el desarrollo de obras de infraestructura, al igual que la realización de zonificaciones de propiedades geomecánicas del terreno.

El tamaño de los mapas para presentación tanto a escala 1:5000 como 1:2000 será de 75 x 50 cm, de acuerdo con las dimensiones de las planchas disponibles en el IGAC y para construir la cartografía temática relacionada con las escalas 1:2000 y 1:5000 se requieren algunos insumos básicos, tanto de información primaria como secundaria. Entre los más importantes se encuentran la cartografía básica IGAC a escala 1:2000 o 1:5000, el respectivo MDT con resolución de 2 o 5 m, respectivamente (Servicio Geológico Colombiano, 2016). (Tabla 1).

Tabla 1. Dimensiones de las Unidades de Cálculo del Terreno

Escala de referencia	Dimensiones del píxel elemental - UCT	
	Longitud (m)	Área (m ²)
1: X	X/1000	$x^2/10^6$
1:2000	2	4
1:5000	5	25

Fuente: Calvello et al., 2013.

3.3.4 Nomenclatura

De acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano (2016), la manera de ajustar la nomenclatura una vez se haya obtenidos los ambientes morfogenéticos y los posibles elementos geomorfológicos del área de estudio es:

- La primera letra, en mayúscula, indica el origen de la geoforma: morfoestructural (S), volcánico (V), denudacional (D), fluvial (F), marino-costero (M), glacial (G), eólico (E), kárstico (K), antropogénico (A).
- A partir de la segunda letra, en minúscula, se indican características particulares del elemento, rasgo o proceso geomorfológico.

3.4 Movimientos en masa

Los movimientos en masa se definen como todos aquellos movimientos que se presentan ladera abajo de una masa de roca, detritos o tierras por efectos de gravedad u otros factores detonantes o contribuyentes (Ruiz Peña, 2017). Los movimientos en masa se consideran como parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la Tierra. Su génesis obedece a la combinación de una gran diversidad de procesos tanto de origen geológico como hidrometeorológico, químico y mecánico. Por lo tanto, su estudio, análisis y la evaluación de la amenaza por estos procesos involucra varias disciplinas de las ciencias de la Tierra y del medio ambiente (PMA: Proyecto Multinacional Andino, 2007). De acuerdo con Montero Olarte (2017), en Colombia se consideran cinco tipos de movimientos en masa con más frecuencia en ocurrencia: caídas y rodamientos, volcamientos, deslizamientos, flujos y reptación (Tabla 2).

Tabla 2. Tipos de movimientos en masa con más frecuencia en Colombia.

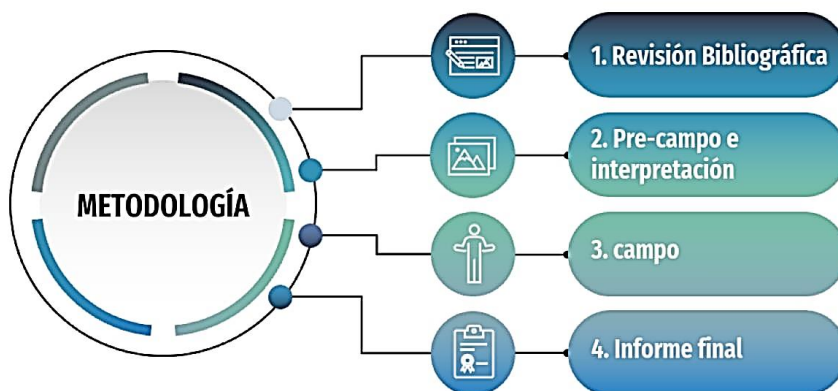
Tipo	Mecanismo	Material desplazado	subtipo
Caídas	Desprendimiento de material que se desplaza por el aire, brinca o rueda	Rocas, suelos	caída de rocas y suelos rodamiento de bloques torrentes de bloques
Volcamientos	Masas que rotan de un punto sin desprenderse	Rocas, detritos	único o múltiple conjunto de bloques de roca. De bloques Individuales liberados por tensión. De detritos.
Deslizamientos	La masa se desplaza sobre una superficie de falla por cortante sin desintegrarse apreciablemente	Rocas, suelos	Rotacional (hundimiento) Rotacional Retrogresivo múltiple Traslacional planar Traslacional en cuña Compuesto
Flujos, avalanchas y deslizamientos por flujo	La masa se mueve grandes distancias la mayor parte del trayecto en forma viscosa	Rocas, detritos, tierras, lodos, turba	Flujos de detritos (lahares y avenidas torrenciales) flujos de tierras, flujos de lodo, avalanchas de detritos, deslizamiento por flujos de material granular-licuación (<i>Flow slide</i>) Deslizamiento por flujo de arcilla sensitiva (<i>clay-Flow slide</i>)
<i>Creep</i> (Reptación)	La masa se deforma muy lentamente sin fallar	Rocas, suelos, talus	<i>Creep</i> superficial <i>Creep</i> profundo Solifuxión y gelifuxión (flujo)

Fuente: Clasificación de movimiento en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia (Montero Olarte, 2017).

4. Metodología

Para el desarrollo de los objetivos propuestos, la metodología utilizada en el presente trabajo se basa en cuatro etapas (Figura 3) que buscan facilitar la obtención de información además de incorporar de manera integral todos los datos. Para el procesamiento de la información obtenida se tomará como guía el documento de la propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia realizada por Carvajal (2012) y la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Servicio geológico colombiano (2016).

Figura 3. Esquema metodológico.



Fuente: Autor

4.1 Etapa 1: recopilación y revisión bibliográfica.

En esta etapa se obtuvo la compilación de toda la información básica y temática referente al área de estudio. A) el modelo digital de elevación, B) mapa topográfico base, C) imágenes de satélite, D) el mapa geológico y E) trabajos relacionados al área de estudio; esta información se recopiló de:

- A.** La obtención del modelo digital de elevación (DEM) se realizó por medio de la plataforma de imágenes satelitales EOSDA LandViewer, en la cual se carga un KML con el área de estudio>Búsqueda de escena>Ajuste de la búsqueda> Fuente: teselas de terreno y de esta manera se obtuvo el DEM de 5 m con una resolución de píxel de 4.77 metros.
- B.** La topografía base se obtuvo a través de los geoprocesamientos realizados al modelo de elevación digital en ArcGIS 10.5.
- C.** La obtención de la imagen satelital se hizo por medio del Software SAS Planet usando su satélite Bing y Google Earth Pro.
- D.** La recopilación de información secundaria para el componente de geología se obtuvo a partir de la cartografía geológica urbana a escala 1:10.000 de la modificación excepcional del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de Pamplona (2015) y la plancha 110-Pamplona del Servicio Geológico Colombiano a escala 1:100.000, esta información fue corroborada con puntos de control donde se evidenciaba la litología del área de estudio.
- E.** La bibliografía recopilada para el área de estudio fue obtenida de documentos de la alcaldía del municipio de Pamplona (2015), como lo es la cartografía base del Plan Básico de Ordenamiento Territorial, descripción, análisis del plan municipal de gestión del riesgo de desastres CMGRD (2020), la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Servicio geológico colombiano (2016), la propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia realizada por Carvajal (2012) y artículos referentes a la caracterización de componentes geomorfológicos .

4.2 Etapa 2: pre-campo e interpretación

Teniendo los insumos básicos recopilados en la etapa 1, se realizó el procesamiento del modelo digital de elevación (DEM), imágenes satelitales y el mapa topográfico, esto con el fin de llevar a cabo el análisis e interpretación geomorfológica del área de estudio, lo que dio como resultado los siguientes productos:

Obtención de atributos cuantitativos: Para la generación de estos atributos se utilizó el modelo digital de elevación (DEM) a una resolución de pixel de 4,77, a partir de este DEM se generan los siguientes productos:

Mapa topográfico: La obtención de este insumo se realizó mediante el software ArcGIS 10.5, donde se cargó el DEM, posterior a esto se realizó su procesamiento con la Herramienta ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Raster Surface > Contour, el intervalo entre curvas de nivel es 5 metros dada la escala de trabajo.

Mapa de sombras: Se genera el modelo de sombras en diferentes direcciones que resaltarán los rasgos geomorfológicos a ser cartografiados, La realización de este se hizo en el software ArcGIS 10.5, donde se cargó el DEM, usando la herramienta ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Surface > Hillshade

Mapa de pendientes: Es una variable cuantitativa y continua cuyo valor se expresa en grados de 0 a 90. La pendiente se puede considerar como un factor importante en la ocurrencia de movimientos en masa en la medida en que se relaciona directamente con las tensiones de corte tangenciales y normales en los materiales superficiales, e influye también en la distribución de agua en la ladera (Santacana, 2001). El valor de las pendientes se tomó en grados (°) (Tabla 3)

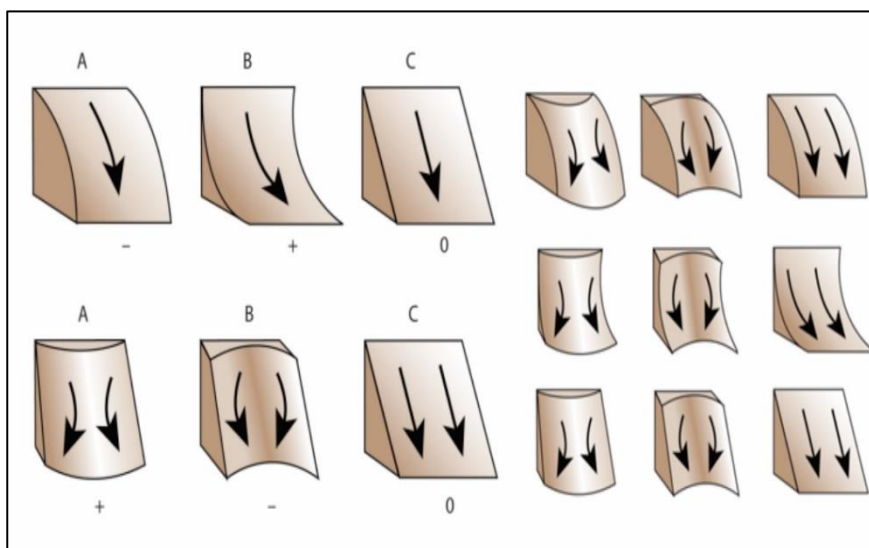
Tabla 3. Rangos de pendiente utilizados con propósitos de análisis de ingeniería y zonificación de amenazas por movimientos en masa.

INCLINACIÓN (°)	PROCESOS CARACTERISTICOS Y 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 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, reptación y ocasionalmente deslizamientos, también erosión de tipo laminar y en surcos. Susceptible 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.
35-55	Muy abrupto. Afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, depósitos granulares caóticos de poco espesor.
>55	Extremadamente abrupto. Afloramientos rocosos. Procesos denudacionales muy fuertes, especialmente “denudación de escarpe”; susceptible a rodamiento de rocas.

Fuente: Tomado de Van Zuidan (1986).

Mapa de curvatura: De acuerdo con ArcMap (2017), la función de curvatura muestra la forma o la curvatura de la pendiente. Una parte de la superficie puede ser cóncava o convexa; eso se puede comprobar consultando el valor de la curvatura, Los valores se clasifica según su rango, si el valor es positivo indica que la superficie es lateralmente convexa hacia la celda., si el valor es negativo indica que la superficie es lateralmente cóncava hacia la celda y si el valor esta alrededor de cero hace referencia que el valor es lineal o plana. (figura 4).

Figura 4. Tipos de curvatura



Fuente: Tomado de ArcMap (2017)

Mapa de aspecto: De acuerdo con López (2006), El aspecto corresponde a la orientación de la superficie que es el componente direccional de la pendiente. Los valores de cada una de las celdas indican la dirección de azimut a la que se dirige la superficie, es decir, la dirección de brújula a la que apunta la superficie en cada ubicación. Este producto se obtuvo a partir de la herramienta aspect usando el software Arcgis 10.5, para el área de estudio se obtuvo 9 orientaciones que se representan en grados acimut. (Tabla 4)

Tabla 4. Rangos de orientación de las pendientes. Fuente. Autor

Color	Dirección	Intervalo de la orientación
	Plano	(-1)
	Norte	(0-22.5)
	Noreste	(22.5-67.5)
	Este	(67.5-112.5)
	Suroeste	(112.5-202.5)
	Sur	(157.5-202.5)
	Suroeste	(202.5-247.5)
	Oeste	(247.5-292.5)
	Noroeste	(292.5-337.5)
	Norte	(337.5-360)

4.3 Etapa 3: campo

El trabajo de campo se realizó con el propósito de verificar el mapa preliminar y, además, obtener información que no pudo ser adquirida durante la etapa de pre-campo. Durante esta fase, se realizaron diecinueve (19) estaciones de control en el área de estudio obteniendo datos de parámetros morfológicos y morfométricos, proporcionando una descripción detallada de los atributos de morfometría y morfología. Este análisis se llevó a cabo utilizando el formato de campo "Caracterización de geoformas geomorfología aplicada - Mapas de elementos geomorfológicos", conforme a la Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escala detallada del SGC (2016).

4.3.1 Elaboración del mapa

En este apartado se plasmó toda la información obtenida en la recopilación de datos de las etapas anteriores para la elaboración del mapa final de componentes geomorfológicos a escala 1:5000 siguiendo la metodología de la propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia (Carvajal, 2012).

4.4 Etapa 4, informe final

A partir de la información recolectada en las etapas 1,2,3 se redactó el informe que presenta la descripción e interpretación del mapa geomorfológico, junto con sus correspondientes resultados y análisis obtenidos a lo largo de la ejecución del proyecto. Este documento representa el informe final resultante de dicha fase.

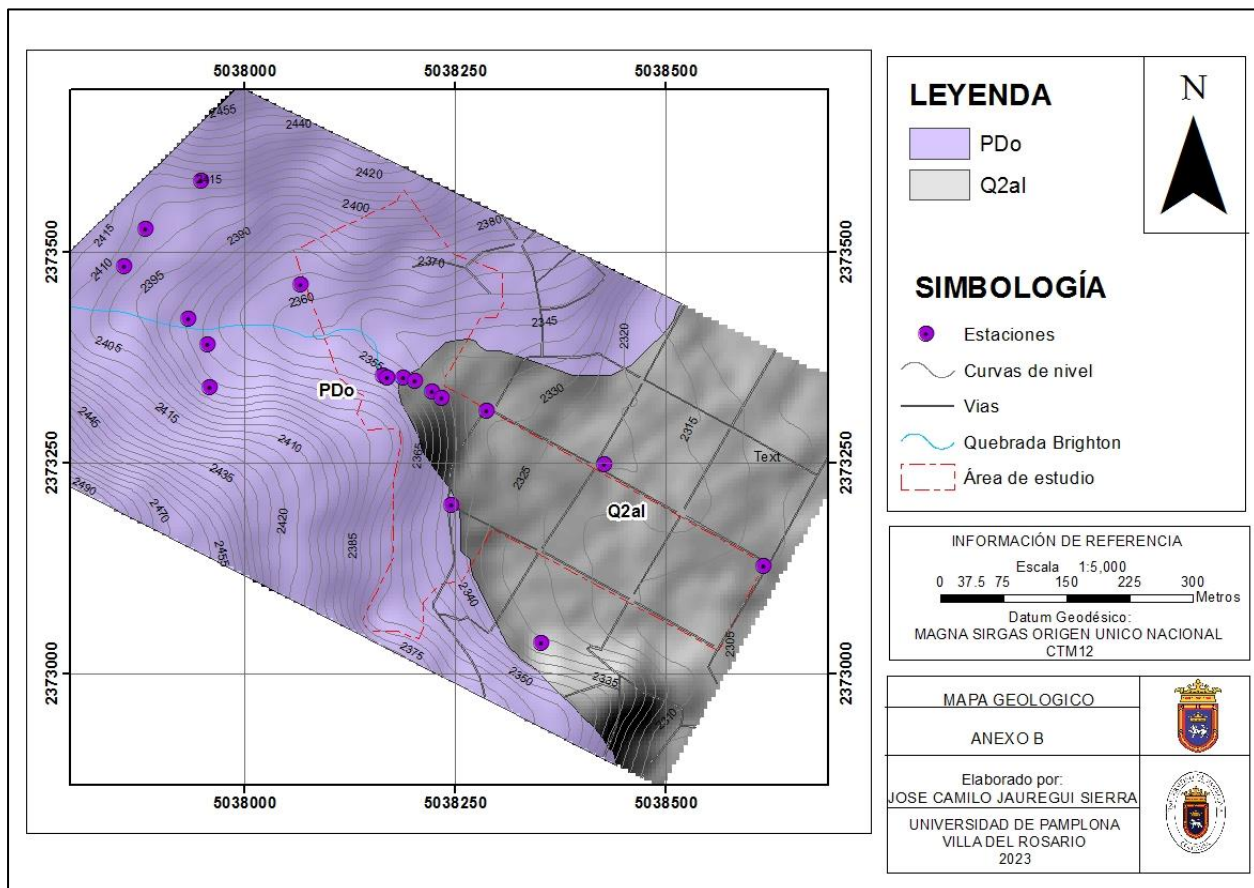
5. Análisis y resultados

La caracterización realizada se lleva a cabo con el fin de generar insumos que ayuden a comprender las condiciones morfodinámicas del terreno, obtener medidas cuantitativas de la morfometría y describir la morfología presente. Esto permitirá tener un conocimiento claro y preciso de los procesos que han dado forma a la geomorfología del barrio Brighton.

5.1 Geología

En la zona de estudio se presentan dos formaciones, las cuales corresponden a la Formación Ortoneis y depósitos cuaternarios de tipo aluvial. A continuación, se dará a conocer de manera general la descripción de las unidades geológicas presentes en el polígono del área de estudio, en función de la litología, la morfología y el orden cronológico (figura 5).

Figura 5. Mapa geológico del área de estudio.



Fuente: Autor

5.1.2 Formación Ortoneis (Pdo)

El Ortoneis exhibe una variación considerable de textura y de composición cuarzo feldespática, su carácter no estratificado y su estructura neisica marcada; teniendo generalmente foliación definida y las rocas predominantes de esta formación son las Cuarzomonzonita y la granodiorita (Ward, Goldsmith, Cruz, Jaramillo, & Vargas, 1977).

La unidad Ortoneis corresponde a rocas metamórficas de origen ígneo, la composición predominante al oeste de Pamplona es Biotita, Plagioclasas, Cuarzo y cristales grandes de Feldespatos potásico (Alcaldía de Pamplona, 2002). Estas rocas se encuentran muy meteorizadas y en contacto fallado con rocas Cretácicas de las Formaciones Tibú Mercedes y Capacho. Estas forman suelos residuales arcillo limosos a areno limosos de color amarillento, dado que presentan zonación en bandas esquistas y bandas cuarzo feldespáticas que al alterarse facilitan la evolución hacia los suelos mencionados (Delgado, 2011).

Esta unidad se encuentra en la zona Noroeste-suroeste del área para la cual, se realizó un control litológico mediante las estaciones de campo, en las cuales no se logra evidenciar un afloramiento de material rocoso debido a la alta meteorización de la zona y la alta cobertura de la vegetación (**figura 6**), el estado actual de la unidad es de un saprolito, en el cual se evidencias clastos y guijos angulosos de color blanco embebidos en una matriz arcillo-limosa de tonalidad rojiza.

5.1.3 Depósitos Cuaternarios (Q2al).

Los depósitos cuaternarios se encuentran ampliamente distribuidos en el casco urbano del municipio, cortados por el cauce del río Pamplonita. “Descansan” sobre las diferentes formaciones geológicas, principalmente sobre la Unidad Ortoneis. La formación de los depósitos está relacionada a los procesos estructurales, denudacionales y fluvio-lacustres que permitieron la meteorización, erosión y depositación de abundante material detrítico (Alcaldía de Pamplona,

2002). Este depósito se encuentra hacia el Noreste-Sureste de la zona de estudio, el cual presenta una cobertura de tejido urbano continuo.

Figura 6. Fotografía a detalle de la formación Ortoneis.



Fuente: Autor.

5.2 Análisis morfométrico y morfológico

El análisis morfométrico se fundamentó en el cálculo de los atributos cuantitativos de la geomorfología general, tal como las pendientes del terreno, la curvatura y la orientación. A continuación, se presenta la descripción detallada de estos atributos:

5.2.1 Pendientes

Los rangos y los resultados del análisis de pendiente en el área de estudio se presentan en la Figura 7 y la Tabla 5. Se destaca que las pendientes inclinadas (26.77), moderadamente abruptas (26.62%) y abruptas (37.63%) predominan en el área de estudio, siendo las pendientes abruptas las de mayor porcentaje de lo cual, se puede inferir que estas zonas sufren procesos

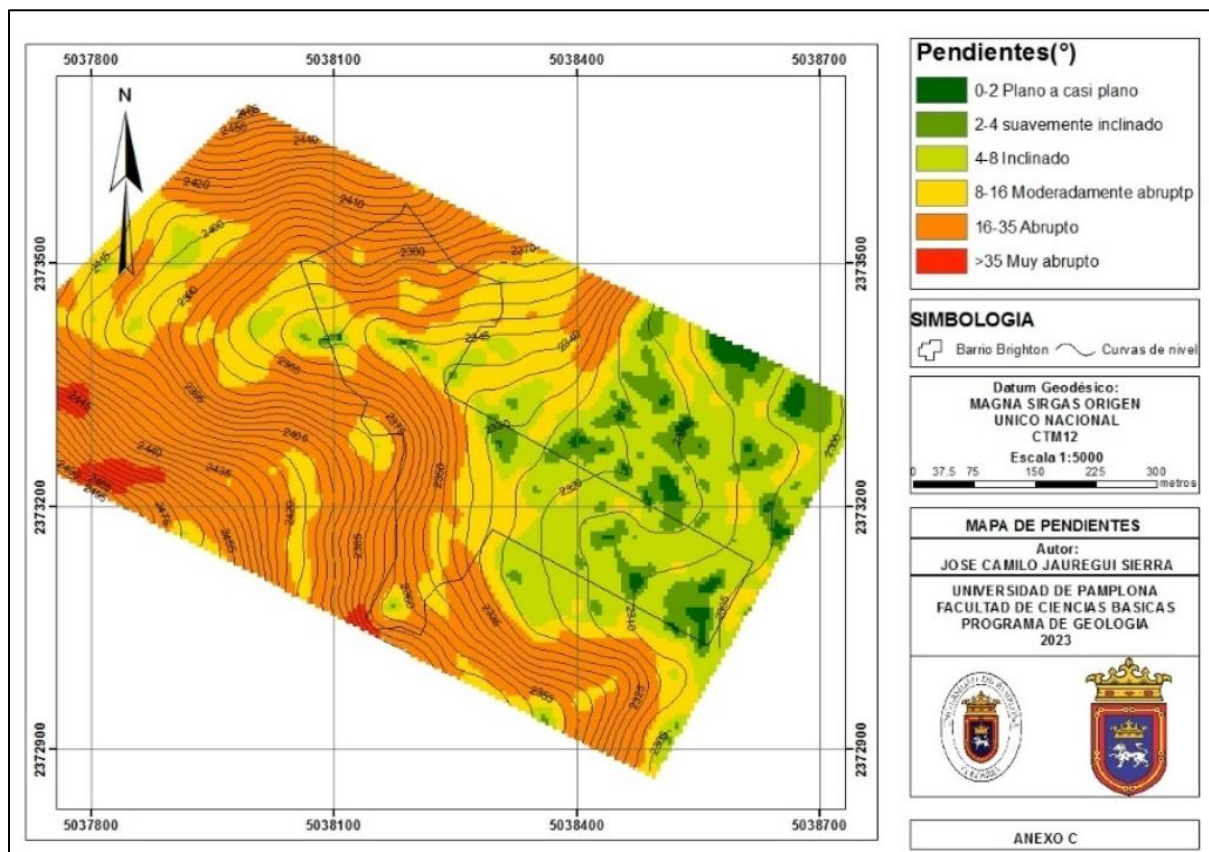
denudacionales intensos (reptación, erosión bajo cubierta forestal y deslizamientos) y es una zona propensa al desarrollo de procesos erosivos.

Tabla 5. Porcentaje de las pendientes en el área de estudio.

Pendiente (°)	Área m2	Porcentaje (%)	Estado del terreno
0 a 2	1515	1.41	Plano a casi plano
2 a 4	8106	7.55	Suavemente inclinado
4 a 8	28734	26.77	Inclinado
8 a 16	28577	26.62	Moderadamente Abrupto
16 a 35	40391	37.63	Abrupto
>44	22	0.02	Muy abrupto

Fuente. Autor

Figura 7. Mapa de pendientes del área de estudio.

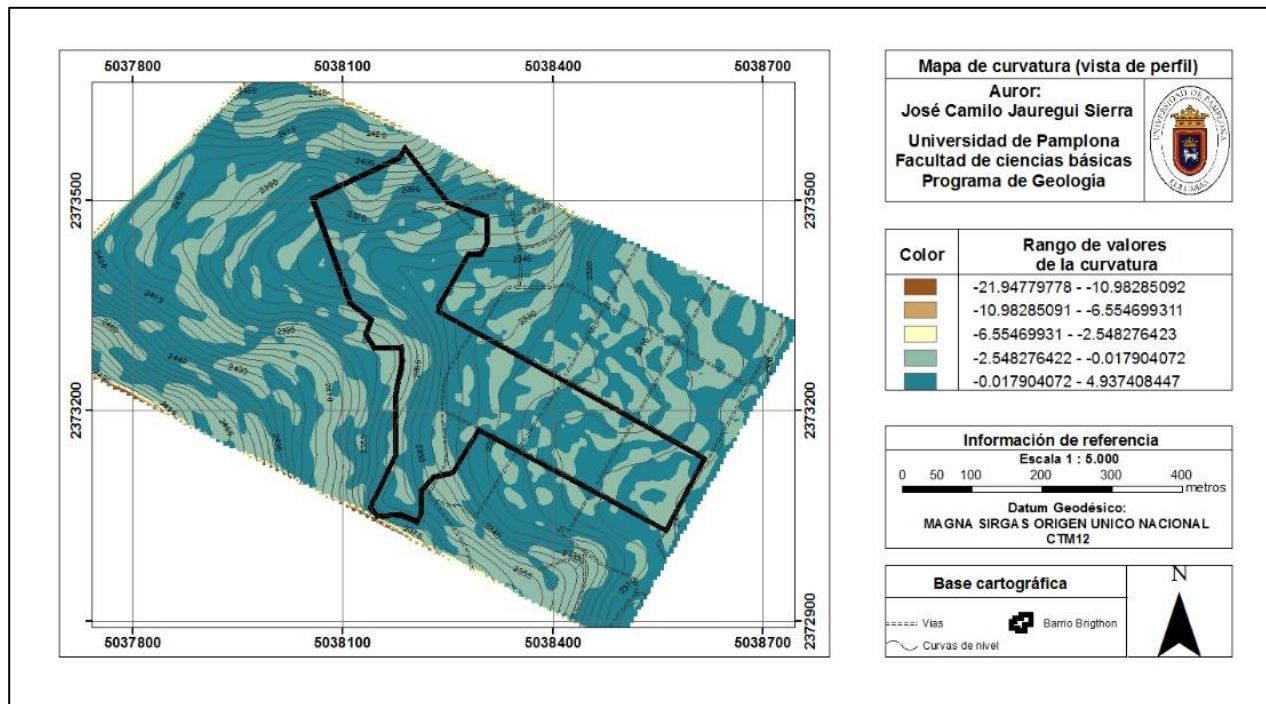


Fuente: Autor

5.2.3 Curvatura

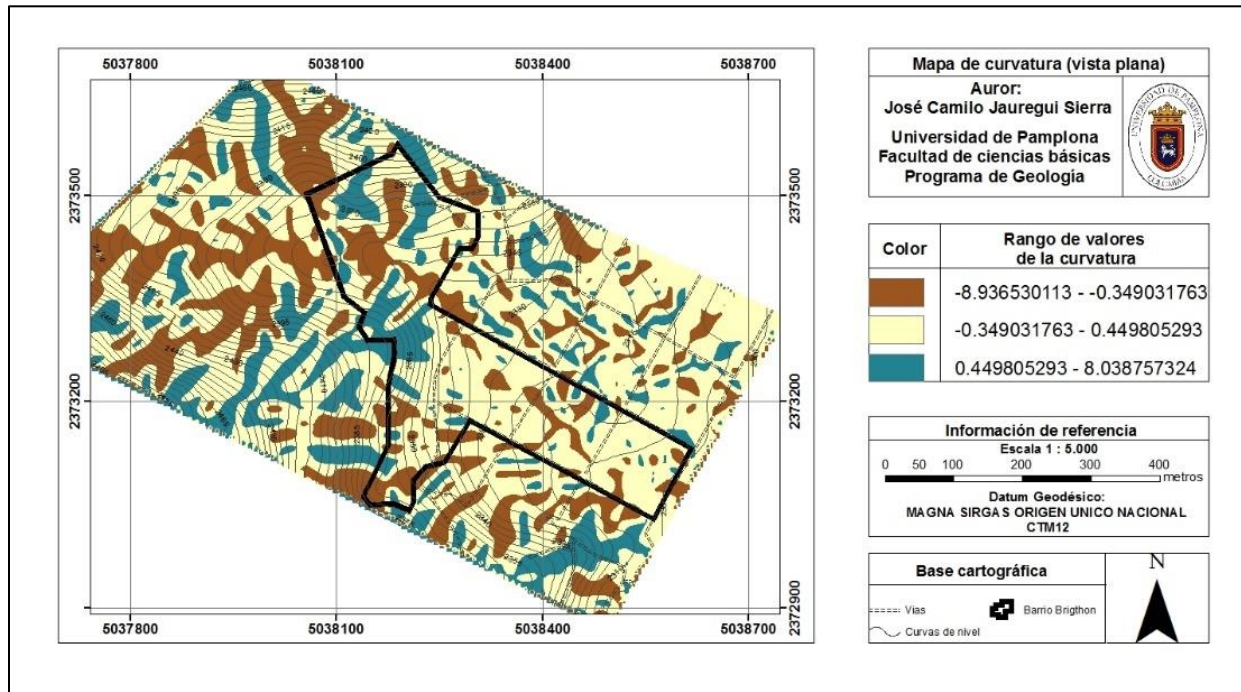
Se obtuvieron tres mapas de curvatura del área de estudio, El mapa de curvatura de perfil (Figura 8), facilita la distinción de las formas de los componentes geomorfológicos como los espolones lo cuales varían de cóncavos a convexos; El mapa de curvatura de planta (Figura 9), muestra la correlación entre áreas cóncavas, inclinadas y áreas convexas. La principal característica que se destaca es la concavidad del cono de flujo indiferenciado, las zonas convexas del lomo denudado y la concavidad de la ladera ondulada todo esto en la zona noreste. Finalmente, al integrar los mapas anteriores, se genera un mapa de curvatura estándar (Figura 10). Este mapa al combinar las regiones cóncavas y convexas del suelo define bien las superficies del área de estudio.

Figura 8. Mapa de curvatura (vista de perfil)



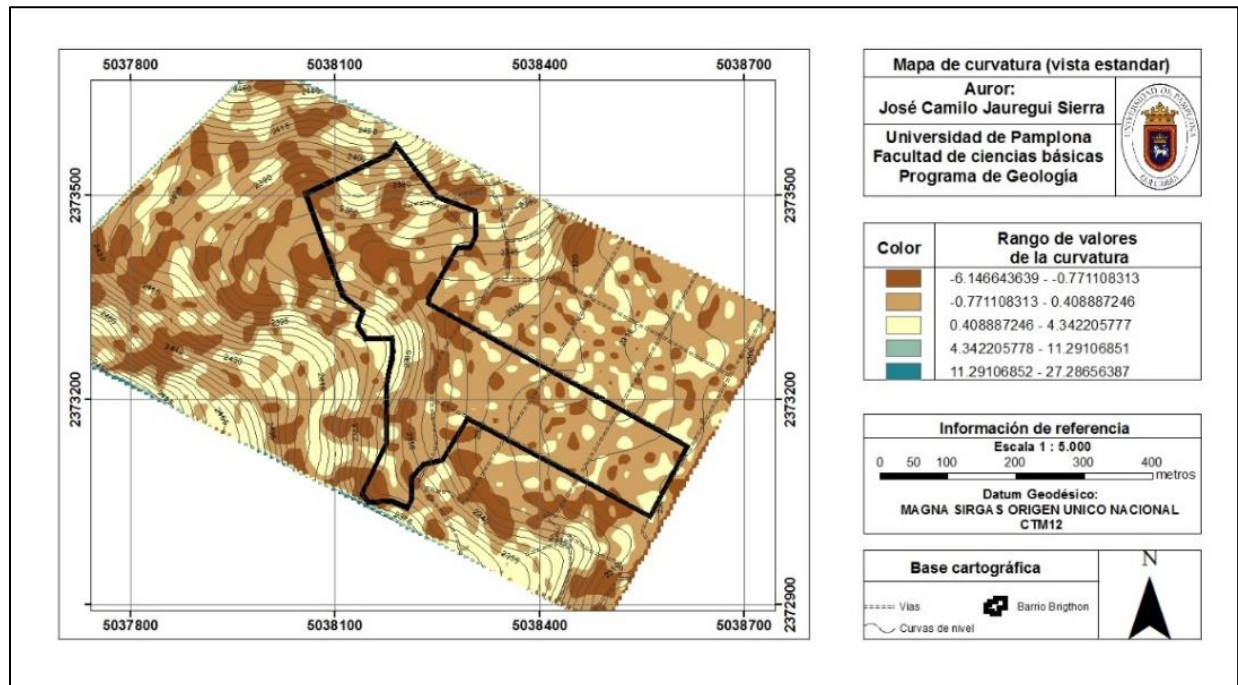
Fuente. Autor

Figura 9. Mapa de curvatura (vista plana)



Fuente. Autor

Figura 10. Mapa de curvatura (vista estándar)

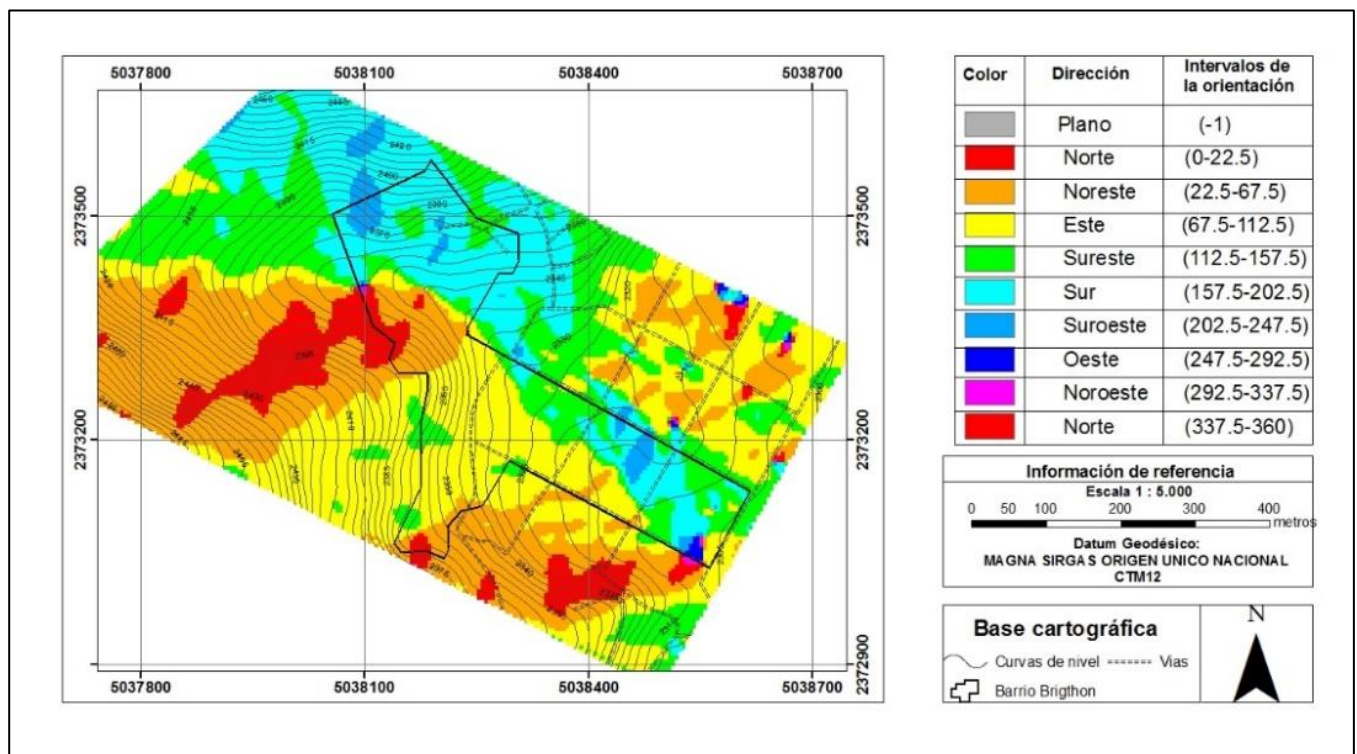


Fuente: Autor

5.2.4 Orientación

El análisis de la orientación de las pendientes permitió una zonificación más precisa de elementos geomorfológicos como la ladera erosiva, laderas onduladas cóncava y el lomo denudado. La inclinación de las pendientes tiene en casi su totalidad una preferencia hacia el este en el área de estudio destacando las direcciones NE y SE de los colores naranja y verde respectivamente en donde se forma un valle, en la zona no se encuentran planicies. (figura 11)

Figura 11. Mapa de orientación



fuelle: Autor

5.3 Componente o elemento geomorfológico

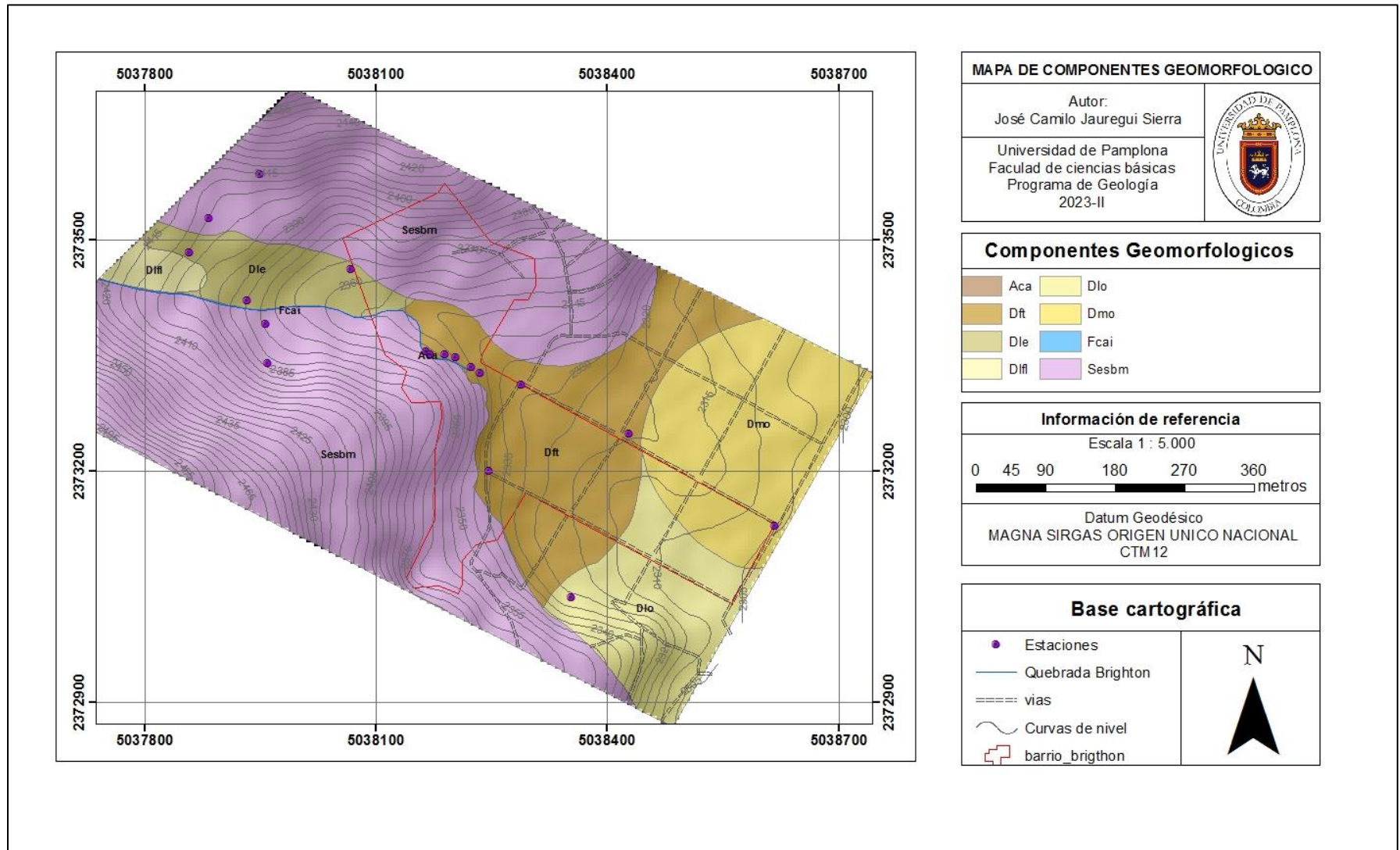
Para la zona de estudio, se pueden identificar cuatro ambientes morfogenéticos, cada uno con procesos únicos de formación y modelado del terreno. Estos ambientes se clasifican como estructural, denudacional, fluvial y antropogénico. El ambiente denudacional destaca como el más predominante, abarcando el 54.7% del área total, que incluye las zonas norte, centro y este equivalente a 56.0001 m²; Le sigue el ambiente estructural, que ocupa el 45.1% y prevalece principalmente en la parte Suroeste y Noreste, correspondiente a 48.618 m²; el siguiente ambiente es el Fluvial que abarca el 0,1% correspondiente a 62 m² presente en el Noroeste del área y por último, el ambiente antropogénico que representa el 0,1%, ejerciendo su influencia en las región Noroccidental del área de estudio, abarcando 84 m². Además, se han identificado y descrito 7 elementos geomorfológicos, como se detalla en la (Tabla 6).

Tabla 6. *Tabla de porcentajes de los componentes geomorfológicos.*

No. Polígonos	Nombre del componente	Nomenclatura	Area_m2	Porcentaje(%)
1	Cono o lóbulo de flujo indiferenciado	Dft	36154	33.6
1	Cauce aluvial intermitente	Fcai	62	0.1
1	Espolón bajo de longitud media	Sesbm	24769	23.0
1	Canal Artificial	Aca	84	0.1
1	Espolón bajo de longitud media	Sesbm	23773	22.1
1	Lomo denudacional	Dmo	10431	9.7
1	Ladera erosiva	Dle	2060	1.9
1	Ladera ondulada concava	Dloc	10210	9.5

Fuente: autor

Figura 12. Mapa de componentes geomorfológicos.



Fuente: Autor

5.3.1 Espolón moderado de longitud media (Sesbm)

Situado en una morfología alomada, este terreno se desarrolla sobre rocas metamórficas altamente meteorizadas, formando suelos residuales arcillo-limosos a areno-limosos de tonalidad amarillenta (Figura 13). Está delimitado por drenajes paralelos, con laderas que varían en longitud entre 230 m y 300 m, relieve relativo menor a 100m y pendientes que van desde abruptas hasta moderadamente abruptas. La forma de las laderas es tanto cóncava como convexa. En estas pendientes, se llevan a cabo actividades agrícolas y ganaderas, lo que influye en la formación de terrazas (Figura 14). También se observó la reptación de árboles de la especie de pino (Figura 15).

Figura 13. Espolón moderado de longitud media (Sesmm) a). Actividad agrícola sobre el espolón. Espolón bajo de longitud media (Sesbm). b) Suelo sin cobertura vegetal altamente escarpado.



Figura 15. Reptación del terreno.



Figura 14. Escarpes y terracetas



5.3.2 Espolón bajo de longitud media

Saliente de morfología alomada, desarrollado sobre rocas metamórficas altamente meteorizadas, formando suelos residuales arcillo-limosos a arenolimosos de color amarillento (Figura 8), limitado por drenajes paralelos, con laderas de longitudes variables entre 150 m a 260 m, relieve relativo menor a 100m y pendientes que se reducen de abruptas a moderadamente abruptas, de forma convexa a recta. Sobre las laderas de este espolón, se desarrolló un tejár donde se fabricaban ladrillos y tejas, aprovechando la roca altamente erosionada ya convertida en suelo, lo que influyó en la formación de escarpes en el terreno (Figura 16). La geoforma presenta una buena cobertura vegetal que lo protege de los agentes erosivos, principalmente las aguas pluviales.

Figura 16. Escarpes presentes en el espolón (Sesbm)



Fuente: Autor

5.3.3 Canal artificial (Aca)

Se construyó un canal con una longitud aproximada de 80 m para el dragado, rectificación y canalización de la quebrada Brighton en el año 2012. Esta estructura se estableció como medida de protección hacia la comunidad estudiantil de los colegios Brighton y La Presentación, mitigando el riesgo de aumento del cauce de la quebrada durante las épocas de lluvia. En la zona de estudio, el canal se encuentra ubicado en el lindero posterior del colegio Brighton, redirigiendo el agua hacia el alcantarillado del casco urbano. (figura 17 y 18)

Figura 17. Canal artificial.

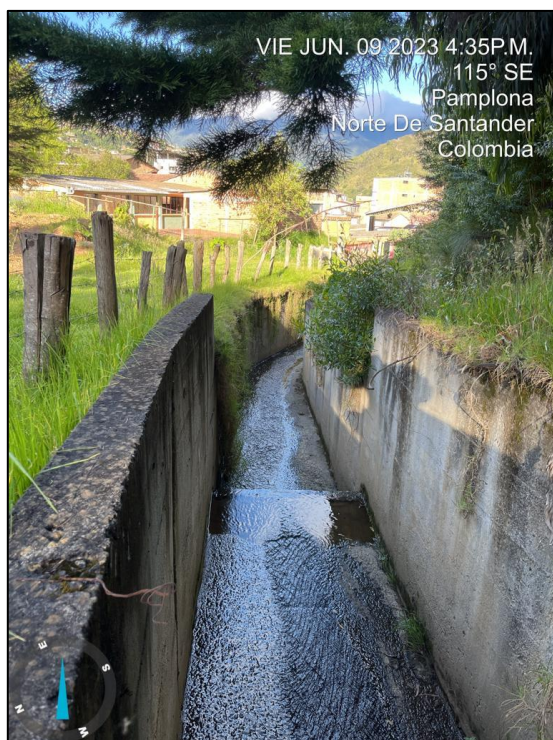


Figura 18. Aberturas del canal.



Fuente: Autor

5.3.6 Canal aluvial (Fca)

Canal de forma irregular excavado por la erosión de corrientes perennes o estacionales, ubicado dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. En el área urbana, presenta una pendiente que varía de moderadamente abrupta a suavemente inclinada, con un lecho resistente y una

alta carga de sedimentos y caudal. Este canal atraviesa el municipio de Pamplona de Oeste a Este en el área de estudio, con aproximadamente 200 m de longitud y un ancho de 1 m restringido por el canal aluvial. El cauce es estacional y rectilíneo, confinándose a un valle estrecho en forma de V. Su impacto como agente modelador del relieve es significativo, ya que, al ser rectilíneo, posee un caudal de alta energía y una gran capacidad erosiva. El último aumento notable de este cauce ocurrió en el año 2010 debido a una combinación de factores antropogénicos y naturales. Durante la ola invernal de ese año, las intensas lluvias aumentaron el cauce de la quebrada Brighton, provocando desbordamientos que arrastraron detritos, vegetación y lodo, causando daños en la infraestructura de colegios, viviendas, áreas comerciales, inmuebles culturales y vías (Figura 19) (J, Cárdenas, comunicación personal, noviembre de 2022). Como respuesta a este evento, en el año 2011, las autoridades correspondientes llevaron a cabo la construcción del canal con el objetivo de mitigar y prevenir riesgos ante posibles aumentos futuros del cauce de la quebrada.

Figura 19. Deslave en el año 2010 en el barrio Brighton.



Fuente: Correo Expreso.

5.3.7 Ladera erosiva

Corresponde a superficies del terreno de pendientes muy abruptas a abruptas, de longitudes de ladera entre 100 y 150 metros, de formas cóncavas y convexas, patrón de drenaje

paralelo. Presenta procesos erosivos intensos como escarpes y procesos de solifluxión, sobre materiales de suelo o roca. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura. (figura 20)

Figura 20. Laderas erosivas con presencia de solifluxión.



Fuente: Autor

5.3.8 Cono de flujo indiferenciado (Dft)

Estructura en forma de abanico de morfología alomada, que varía de convexa a cóncava, con una longitud de aproximadamente 300 m y pendientes abruptas a muy abruptas. El cuerpo presenta estructuras convexas de flujo en la parte frontal lobulada. Su origen está relacionado con avalanchas torrenciales, posiblemente inducidas por eventos sísmicos o cambios climáticos asociados a lluvias intensas. El depósito consiste en bloques rocosos angulares a subredondeados

de tamaños métricos incrustados en una matriz arenosa arcillosa, así como la acumulación de bloques en el frente de la onda (figura 21).

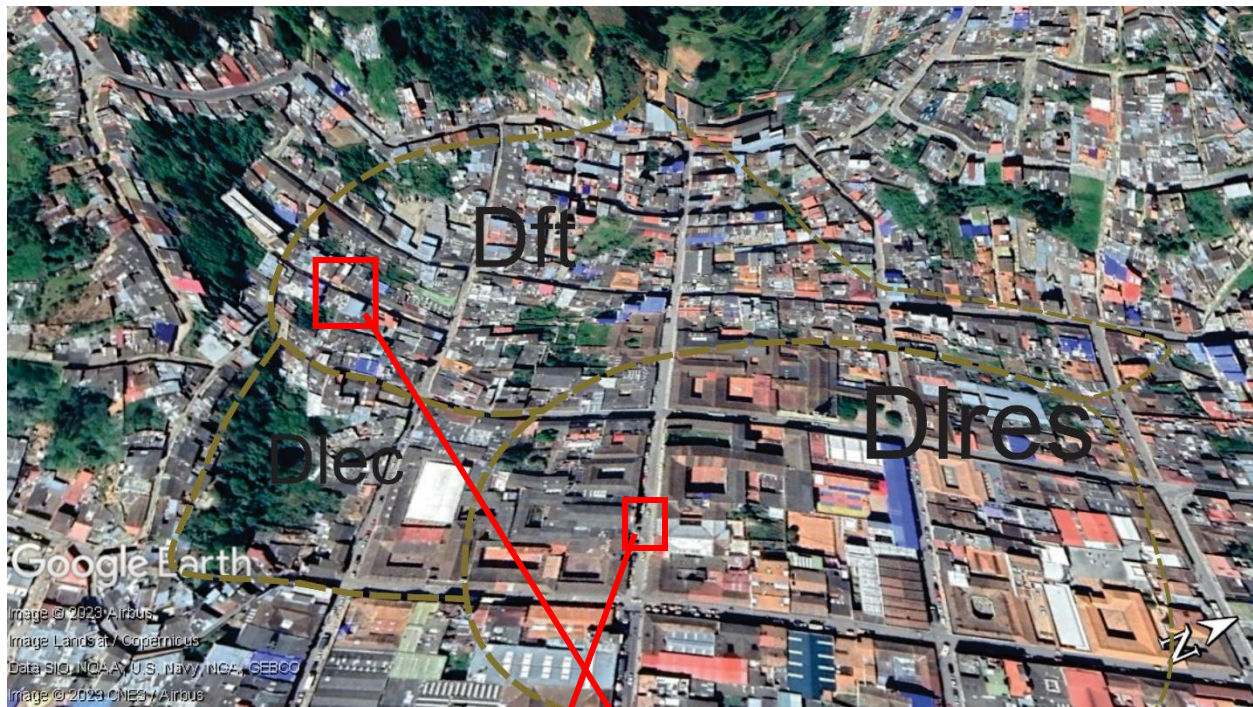
5.3.9 Lomo denudacional (Dmo)

Elevación del terreno con una altura menor de 50 metros sobre su nivel de base local, con una morfología colinada, cóncava o convexa, con pendientes inclinadas y de forma convexa y longitud aproximada de 230m de sus laderas. Su origen es relacionado a procesos de meteorización y erosión intensa sobre rocas blandas o friables y en sedimentos no consolidados, dispuestos de manera horizontal a inclinados. (figura 22)

5.3.10 Ladera ondulada cóncava (Dloc)

Componente geomorfológico con pendiente plana a inclinada, de longitud corta, que varía entre 82 y 123 metros, con una forma cóncava. Muestra procesos erosivos de tipo escarpe en el contacto entre el ambiente denudacional y el ambiente estructural (Figura 23). La construcción de infraestructura en esta geoforma contribuye a mitigar los movimientos de masa, por lo tanto, se observan pocos eventos de este tipo. Sin embargo, es importante señalar que pueden ocurrir caídas de rocas sobre las edificaciones construidas en las proximidades de la ladera, aunque son eventos poco frecuentes.

Figura 21. Elementos geomorfológicos del ambiente denudacional.

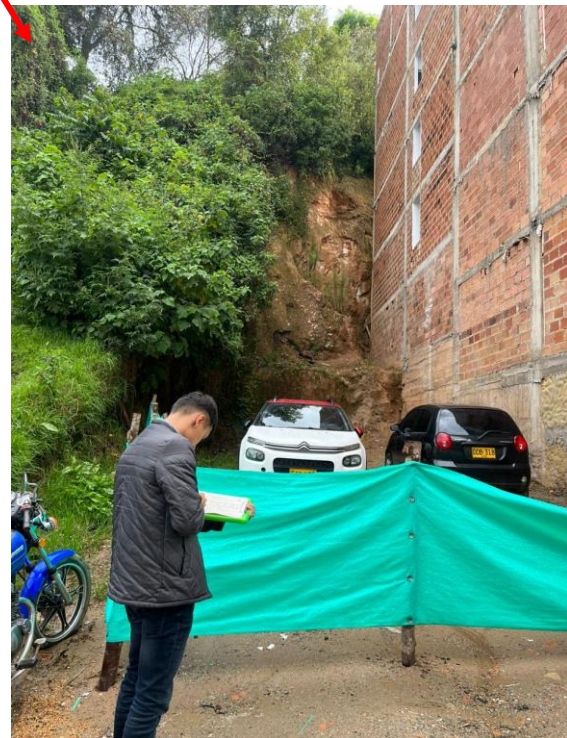


Fuente: Tomado y modificado de Google Earth Pro

Figura 22. Ladera rectilínea del lomo



Figura 23. escarpe que limita el ambiente estructural con el denudacional



Fuente: Autor

5.4 Morfodinámica

Para la descripción y análisis morfodinámico, se abordan los procesos geodinámicos externos marcados por la meteorización y erosión, los cuales han venido modelando y continúan modelando el relieve del terreno. Durante la etapa de campo, se identificaron tres tipos distintos de movimientos en masa y se logró reconocer dos tipos de erosión en la zona de estudio, clasificándolos según el sistema de Suárez Díaz (2009) en el Tomo 1: Nomenclatura y Clasificación de los Movimientos del libro “deslizamientos: análisis geotécnico”.

Es relevante destacar que el municipio experimenta procesos erosivos moderados, principalmente debido a fenómenos meteorológicos y actividades antrópicas. La presencia significativa de construcciones de infraestructura ha llevado a cambios en la cobertura vegetal, resultando en materiales altamente meteorizados. De acuerdo con las características físicas y las pendientes abruptas a moderadas, ciertos sectores muestran una mayor propensión a la inestabilidad.

A partir de la información recopilada durante la fase de campo y el análisis de datos del área de estudio, se lograron identificar los siguientes procesos morfodinámicos y realizar el mapa de eventos morfodinámicos. (figura 24)

5.4.1 *Deslizamiento traslacional en suelo residual*

En los suelos residuales las diferencias en la meteorización profundas propician la presencia de los deslizamientos de traslación. Por ejemplo, en los suelos residuales de rocas ígneas y metamórficas con perfiles de meteorización profundos, son comunes los deslizamientos profundos sobre superficies de falla semiplanas. Los deslizamientos de traslación en suelos residuales generalmente son rápidos y pueden terminar en flujos (Suárez Díaz, 2009).

En el área de estudio, este desplazamiento se manifiesta en el suelo meteorizado de la formación Ortoneis, causado por las aguas pluviales, la intensa meteorización en la zona y la inestabilidad del suelo residual. Las coordenadas geográficas de este movimiento son X: 5037950; Y: 2373391, el deslizamiento traslacional residual tiene una antigüedad de no más de 1 año. Su estado al momento de este estudio es activo y no cuenta con ninguna medida de mitigación (Figura 25). Desde el punto de vista litológico, el desplazamiento abarca lodo, arena, gravas, y guijarros, la cobertura vegetal se vio afectada generando reptación y la caída de algunos árboles. Los factores desencadenantes de este deslizamiento podrían haber sido la erosión pluvial, la inclinación moderadamente abrupta de la ladera, el peso de los árboles y la intensa meteorización del suelo.

Figura 25. Deslizamiento traslacional en suelo residual.



Fuente: Autor

5.4.2 Flujo de detritos

El movimiento de los flujos de detritos se activa con las lluvias, debido a la pérdida de resistencia por la disminución de la succión al saturarse el material, el flujo típico de detritos es una honda larga de materiales sólidos y líquidos entremezclados, que corre, en forma constante,

a través de un canal con algunas ondas menores superpuestas que se mueven a velocidades superiores a aquellas del flujo mismo (Suárez Díaz, 2009).

En el área de estudio, este desplazamiento se manifiesta en el suelo meteorizado de la formación Ortoneis, causado por las aguas pluviales y la intensa meteorización en la zona. Las coordenadas geográficas de este movimiento son X: 5038190; Y: 2773351, está ubicado cerca a la cancha del colegio Brighton, el flujo de detritos tiene una antigüedad de 1-5 años. Su estado al momento de este estudio es activo y no cuenta con ninguna medida de mitigación (Figura 26).

Desde el punto de vista litológico, el desplazamiento abarca lodo, arena, gravas, guijarros y rocas, la cobertura vegetal se ve afectada generando reptación y el arrastre de arbustos y ramas. Los factores desencadenantes de este deslizamiento se asocian a la erosión pluvial, la inclinación moderadamente abrupta de la ladera, la alta meteorización de la zona y especialmente la mala canalización de las aguas resultantes de la actividad agrícola sin control que se efectúa en la zona. Este movimiento en masa genera una amenaza alta, dado que el movimiento de estos materiales se ha depositado sobre la infraestructura del colegio Brighton, lo cual, ocasiona un peligro para los niños y jóvenes que acuden a esta institución.

Figura 26. Deslizamiento de tipo flujo y reptación.



Fuente: Autor

5.4.3 Reptación

La reptación o “creep” consiste en movimientos del suelo subsuperficial desde muy lentos a extremadamente lentos sin una superficie definida de falla. La profundidad del movimiento puede ser desde pocos centímetros hasta varios metros. Generalmente, el desplazamiento horizontal es de unos pocos centímetros al año y afecta a grandes áreas de terreno (Suárez Díaz, 2009).

Este fenómeno sucede alrededor del movimiento de flujo descrito anteriormente, se asocia a la cantidad de lluvia que recolecta el suelo, provocando la inclinación de los árboles de especie pino que rodean la institución educativa colegio Brighton. (figura 26)

5.4.4 Erosión antrópica y pluvial

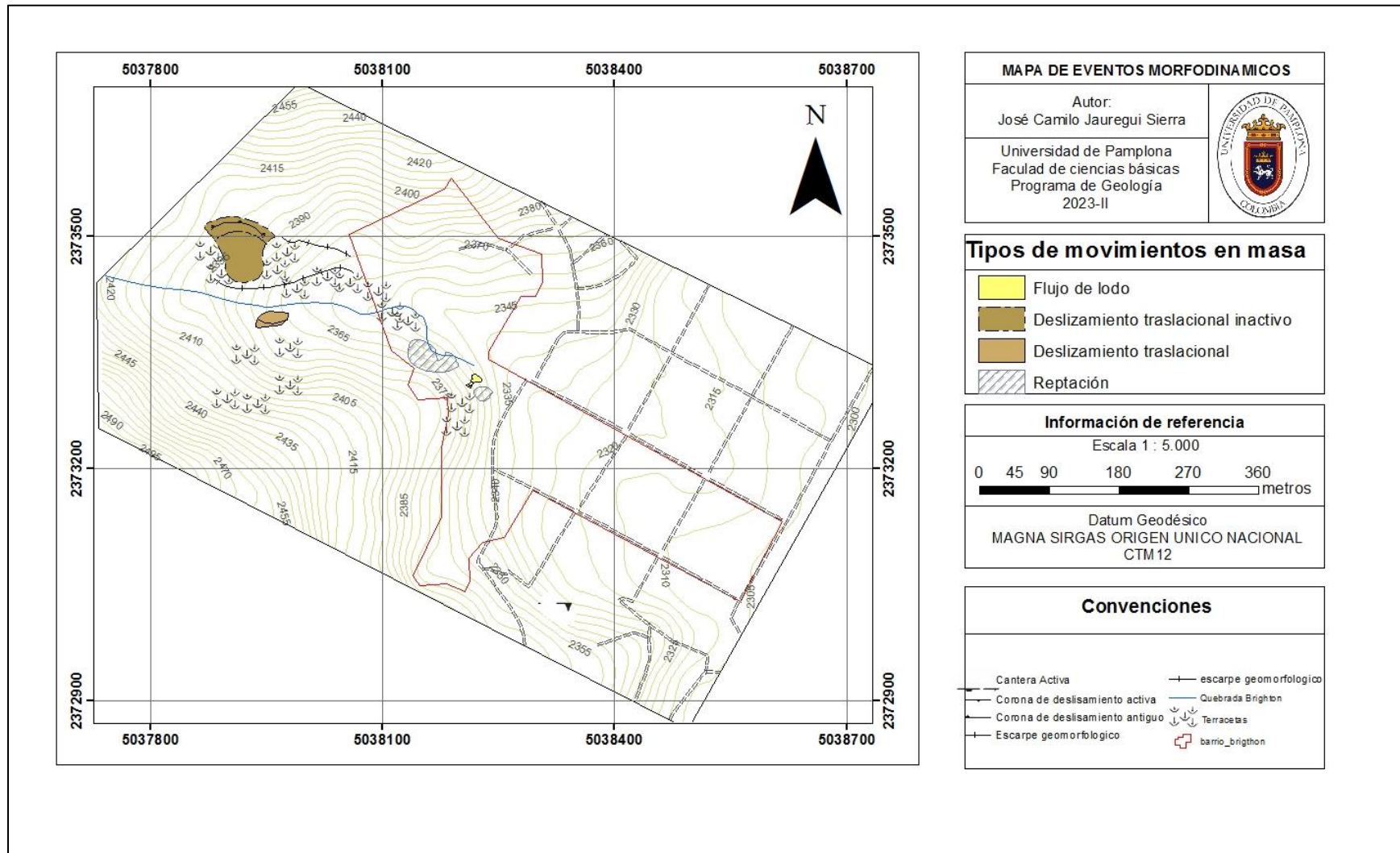
La erosión antrópica implica el proceso acelerado de remoción del suelo debido a la destrucción de la vegetación natural que lo resguarda de la acción de las aguas pluviales. Este tipo de erosión es prevalente en los sectores aledaños a las laderas del municipio de Pamplona, y el sector Brighton no escapa a este fenómeno. La erosión pluvial, en sinergia con la actividad antrópica, desgasta los suelos, escarpes y macizos rocosos que han perdido su cobertura vegetal protectora. En el área de estudio, se han identificado dos puntos que ilustran lo mencionado anteriormente (figura 27).

Figura 27. erosión antrópica y pluvial.



Fuente: Autor

Figura 24. Mapa de eventos morfodinámicos.



Fuente: Autor

6. Conclusiones

Durante la fase de identificación en campo del barrio Brighton en el municipio de Pamplona, Norte de Santander, se recopiló y analizó información sobre los atributos morfológicos, morfométricos y morfolitológicos. Se llevaron a cabo observaciones en 19 estaciones de control, empleando el formato "Caracterización de geoformas geomorfología aplicada – mapa de elementos geomorfológicos". Este formato permitió identificar la litología del área, su grado de meteorización, el tipo de relieve, las formas de las laderas, el estado de la cobertura vegetal y el uso del suelo. Durante este proceso, se identificaron dos tipos de litología: rocas metamórficas altamente erosionadas, con un elevado grado de meteorización causado principalmente por agentes erosivos, principalmente el pluvial; y depósitos aluviales. El relieve varió desde lomas hasta montañas, y las laderas exhibieron formas rectilíneas en las zonas de menor pendiente, así como formas cóncavas a convexas en áreas de pendientes más pronunciadas. El uso del suelo abarcó actividades agrícolas, ganaderas, bosques y pastos en las áreas más elevadas, siendo la zona urbana la más predominante. Los datos morfométricos, como la inclinación de la pendiente, el índice de relieve y la longitud de las laderas, se obtuvieron utilizando un modelo de elevación digital para garantizar valores precisos.

Se realizó la caracterización geomorfológica de los ambientes morfogenéticos, clasificándolos en tipos Denudacionales (D), Estructurales (E), Fluviales (F) y antropogénicos (A). El ambiente geomorfológico predominante en el área de estudio es el denudacional, abarcando un 54.7%. Este se caracterizó en cuatro componentes: Cono de flujo indiferenciado (Dft) con un 33.6%, Lomo denudacional (Dmo) con un 9.7%, ladera ondulada cóncava (Dloc) con un 9.5% y ladera erosiva (Dle) ocupando un 1.9%; por otro lado, el ambiente estructural ocupa un 45.1%, caracterizándose por dos componentes principales: Espolón bajo de longitud

media (Sesbm) con un 23% ubicado hacia el sur del área de estudio y Espolón bajo de longitud media (Sesbm) con un 22.1% ubicado hacia el norte del área. Estos dos componentes se ven especialmente afectados por procesos erosivos, generando inestabilidad en sus laderas y propiciando deslizamientos traslacionales y de flujo, así como reptación en el terreno. Estas dinámicas pueden atribuirse a la actividad ganadera y agrícola desarrollada en estas laderas. El ambiente fluvial representa un 0.1%, con un componente caracterizado, siendo este el canal aluvial intermitente (Fcai) con un 0.1%. Finalmente, el ambiente antropogénico se caracterizó por su canal artificial (Aca), ocupando un 0.1% del área de estudio.

La zona de estudio se caracteriza por su morfología predominantemente montañosa, influenciada por el ambiente estructural. Además, destacan diversas geoformas, como el cono de flujo, el lomo denudado y las laderas cóncavas a convexas del ambiente denudacional, así como terrazas de acumulación y escarpes de erosión del ambiente fluvial. La morfometría de la región está marcada por pendientes abruptas, que abarcan un 37.63% del área, seguidas de pendientes moderadamente abruptas con un 27%, inclinadas con otro 27%, laderas suavemente inclinadas en un 7.55%, y finalmente, áreas planas a casi planas que representan un 1.41%. En cuanto a los movimientos en masa, se identificaron tres tipos en estado activo. En primer lugar, los deslizamientos traslacionales, impulsados por la alta meteorización de las laderas. También, los flujos de detritos, generados por la acumulación de agua y el subsiguiente desprendimiento de lodo, arena y vegetación. Además, se observa la reptación, junto con una moderada a alta erosión pluvial y antropogénica. Estos factores, combinados con las pronunciadas inclinaciones del terreno, constituyen detonantes clave para los movimientos en masa en esta área.

7. Recomendaciones

Debido a la intensa urbanización en la zona, se recomienda llevar a cabo una zonificación detallada de la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa en estos barrios. Esta medida también debería aplicarse a los barrios cercanos, ya que tanto la geología como la geomorfología presentan condiciones propicias para la probable activación y/o reactivación de los movimientos previamente caracterizados, así como para la aparición de nuevos eventos.

La actividad humana en la zona puede tener efectos a largo plazo, especialmente debido al crecimiento urbano sin estudios previos del terreno. Este problema se evidenció durante la fase de campo y se ve agravado por la ubicación de estos asentamientos en laderas inestables. Por lo tanto, es crucial implementar estrategias de planificación y evaluación de riesgos para mitigar las posibles consecuencias adversas asociadas con la expansión urbana en estas áreas vulnerables.

Es importante que los colegios y escuelas que se encuentran en este sector se mantengan actualizadas con los programas de brigadas estudiantiles, charlas con los entes de servicio público como los bomberos, defensa civil y la gestión del riesgo del municipio, para que sepan cómo actuar y salvaguardar sus vidas ante un posible deslizamiento.

En las expansiones urbanas se recomienda hacer estudios geotécnicos de estabilidad de talud para prevenir y/o mitigar posibles deslizamientos; este trabajo puede ser complemento para esos estudios y/o mapas que se realicen en el barrio Brighton del municipio de Pamplona.

8. Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Pamplona. (2002). *Plan basico de ordenamiento territorial* . Pamplona.
- Alcaldía de Pamplona. (2015). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial municipio de Pamplona*. Pamplona.
- ArcMap. (2017). Obtenido de Función de curvatura:
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm>
- Carvajal, J. H. (2012). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*. Bogotá: INGEOMINAS.
- Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres - CMGRD. (2020). *Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres 2020-2028*. Pamplona.
- Delgado, J. R. (2011). *Informe geológico ambiental preliminar para el área de Pamplona*. Pamplona.
- Gutiérrez, J. (2004). *GUÍA TEÓRICA DE GEOMORFOLOGÍA*. Mérida: Escuela de Ing^a Geológica. ULA.
- López, D. (2006). *DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA LA CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE UNIDADES DE RELIEVE A PARTIR DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN*. MEXICO D.F: CENTRO GEO.
- Montero Olarte, J. (2017). *Clasificación de movimiento en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia*. Bogota D. C.: Servicio Geológico Colombiano.
- PMA: Proyecto Multinacional Andino. (2007). *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Ruiz Peña, G. L. (2017). *Las amenazas por movimientos en masa de Colombia, una visión a escala 1:100.000*. Libros del Servicio Geológico Colombiano. Servicio Geológico Colombiano.
- S.G.C. (2013). *Anexo A: Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas*. Bogotá, Colombia: Servicio Geológico Colombiano.
- Santacana, Q. N. (2001). *Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat*. Barcelona: UPC.
- Servicio Geológico Colombiano. (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Bogotá: Libros del Servicio Geológico Colombiano.
- Suárez Díaz, J. (2009). *deslizamientos: analisis geotecnico*. Obtenido de
<https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>

- Velásquez, E. (1999). *Contribution méthodologique a la prise en compte du milieu physique dans la planification environnementale du territoire en zone montagnense de Colombie.* . Francia: Université de Grenoble.
- Verstappen, H., & Van Zuidam, R. (1992). *El sistema ITC para levanta-mientos geomorfológicos.* Villanueva de Huerva: ITC.
- Ward, D. E., Goldsmith, Jimeno, R., Cruz, A., Restrepo, H., & Gómez, E. (1973). *Cuadrángulo H- 12 Bucaramanga. Planchas 109 Rionegro- 120 Bucaramanga.* Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS: Vol. XXI.
- Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J., Jaramillo, J., & Vargas, R. (1977). *Geología de la Plancha 110 Pamplona Escala 1: 100000.* Instituto Colombiano de Geología y Minería.
- Zuidam, R. A. (1985). *Aerial Photo Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping.* Holanda: Smits Publishers.