

**GEOMORFOLOGÍA FLUVIAL Y COBERTURAS ASOCIADAS, EN EL SECTOR
POTRERILLOS- EL PURO, CUENCA ALTA RÍO PATÍA, USANDO
HERRAMIENTAS DE GOOGLE EARTH**

Trabajo de investigación para optar al título de Bióloga

LAURA ISABEL DAZA CAMAYO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACION

PROGRAMA DE BIOLOGIA

POPAYAN, 2023

**GEOMORFOLOGÍA FLUVIAL Y COBERTURAS ASOCIADAS, EN EL SECTOR
POTRERILLOS- EL PURO, CUENCA ALTA RÍO PATÍA, USANDO
HERRAMIENTAS DE GOOGLE EARTH**

Laura Isabel Daza Camayo

**Hernando Vergara Varela Ph.D
DIRECTOR**

**María Patricia Torres Hernández Mag.
ASESORA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACION
PROGRAMA DE BIOLOGIA
POPAYAN, 2023**

Dedicatoria

A mi hija Vera y a todas mis ancestras cuando eran niñas.

Tabla de Contenido

1. Introducción	9
2. Justificación	10
3. Objetivos.....	12
3.1. Objetivo General	12
3.2. Objetivos Específicos.....	12
4. Marco Teórico.....	13
5. Antecedentes.....	22
6. Marco Metodológico	26
6.1. Área de Estudio.....	26
6.2. Primera Etapa: Procesamiento de Imágenes y Determinación del Área de Trabajo.....	27
6.2.1. <i>Corrección Inicial de Modelo Digital de Elevación</i>	27
6.2.2. <i>Mapa de Pendientes</i>	27
6.2.3. <i>Sistema de Drenaje</i>	28
6.3. Segunda Etapa: Cartografía Temática.....	28
6.3.1 <i>Cartografía Geomorfológica</i>	28
6.3.2 <i>Áreas Susceptibles de Inundación</i>	29
6.3.3 <i>Mapa de Coberturas</i>	29
6.3.4. <i>Inferencia de Factores Antrópicos Responsables de la Transformación de la Cobertura</i>	30
7. Resultados.....	31
7.1. Geomorfología	33
7.1.1. <i>Subunidades Geomorfológicas de Ambiente Morfogenético Fluvial</i>	34
7.1.2. <i>Subunidades Geomorfológicas de Ambiente Morfogenético Denudacional</i>	42
7.1.3. <i>Subunidades Geomorfológicas de Ambiente Morfogenético Estructural</i> ...	47
7.1.4. <i>Distribución de las Subunidades Geomorfológicas</i>	49
7.2. Taxonomía Geomorfológica del Área De Estudio	52
7.3 Tipos de Cobertura	53

7.4	Áreas Susceptibles de Inundación.....	60
7.5	Factores Antrópicos Responsables de la Modificación de la Cobertura	64
7.6	Cobertura Vegetal y Uso del Suelo Asociado a Subunidades Geomorfológicas.....	66
8	Discusión	70
8.1	Geomorfología	70
8.2	Cobertura Vegetal y Uso del Suelo Como Factores Antrópicos Responsables de la Modificación de la Cobertura	74
8.3	Áreas Susceptibles de Inundación	77
9	Conclusiones	80
10	Recomendaciones.....	82
11	Bibliografía	83

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema de jerarquización propuesto por Carvajal, 2011. Tomado de Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio Geológico Colombiano (Carvajal, 2011).....	15
Figura 2. Ubicación general del área de estudio.	26
Figura 3. Provincias Geomorfológicas.....	31
Figura 4. Mapa de pendientes.....	32
Figura 5. Área de estudio	32
Figura 6. Ambientes Morfogenéticos.....	33
Figura 7. Subunidades geomorfológicas.	34
Figura 8. Subunidad Geomorfológica Abanico Aluvial, Abanico del río Capitanes. Imagen Landsat/Copernicus y CNES/Airbus 2022, tomada de Google Earth Pro. La línea blanca representa el perfil topográfico realizado.	35
Figura 9. Perfil topográfico del Abanico de Capitanes, de dirección W-E. realizado en Google Earth Pro. La escala vertical se exagera.	36
Figura 10. Subunidades Geomorfológicas Barras Puntuales, Cauce Aluvial y Meandros Abandonados. Imagen CNES/Airbus 2022, tomada de Google Earth Pro.....	37
Figura 11. Subunidad Geomorfológica Planicie de Inundación. Imagen CNES/ Airbus 2022, tomada de Google Earth Pro.....	38
Figura 12. Perfil topográfico de la Planicie de Inundación, en dirección NW-SE. Realizado en Google Earth Pro.....	39
Figura 13. Subunidades Geomorfológicas Terraza de Erosión y Terraza de Acumulación. Perfil topográfico de dirección W-E. Imagen CNES/Airbus y Maxar Technologies 2022, tomada de Google Earth Pro.	40
Figura 14. Perfil topográfico de dirección SW-NE, sobre las Subunidades Geomorfológicas Terraza de Erosión y Terraza de Acumulación. Realizado en Google Earth Pro. Se observa la Planicie de Inundación en la franja roja entre los 2.25 y 3 km del perfil.....	41
Figura 15. Subunidad geomorfológica Jagüeyes. Imagen CNES/Airbus 2022, tomada de Google Earth Pro.....	42
Figura 16. Subunidad Geomorfológica Cerro Remanente o Relicto, correspondiente al cerro Manzanillo. Imagen CNES/Airbus 2022, tomada de Google Earth Pro.....	43
Figura 17. Perfil topográfico de dirección W-E del Cerro Manzanillo. Realizado en Google Earth Pro.	43
Figura 18. Subunidad Geomorfológica Loma Remanente Muy Disectada. Imagen CNES/Airbus 2022, tomada de Google Earth Pro.....	44
Figura 19. Perfil topográfico de una Loma Remanente muy Disectada, de sentido NW-SE. Realizado en Google Earth Pro.....	45

Figura 20. Subunidad Geomorfológica Planicie Ondulada. Imagen CNES/Airbus 2022, tomada de Google Earth Pro.....	46
Figura 21. Perfil topográfico de la Subunidad Geomorfológica Planicie Ondulada, de sentido NW-SE. Realizado en Google Earth Pro.	46
Figura 22. Subunidades Geomorfológicas (Denudacional) Lomeríos, (Estructural) Ladera Estructural de Cuesta, Ladera de Contrapendiente de Cuesta, Sierra Sinclinal y Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal. La línea blanca y amarilla indican dónde se realizaron perfiles topográficos (Figura 23). Imagen Landsat/Copernicus, CNES/Airbus y Maxar Technologies 2022, tomada de Google Earth Pro.....	48
Figura 23. Perfil topográfico de dirección NW-SE, representado en la Figura anterior con la línea de color blanco. Realizado en Google Earth Pro.	49
Figura 24. Perfil topográfico de dirección NW-SE, representado en la Figura 22 con la línea de color amarillo. Realizado en Google Earth Pro.....	49
Figura 25. Distribución de las Subunidades geomorfológicas.....	50
Figura 26. Coberturas identificadas en el área de estudio	56
Figura 27. Diagrama de barras de la distribución de coberturas en el área de estudio. 57	
Figura 28. Relicto de bosque rodeado de pastizal. Fotografía tomada por María Patricia Torres, 2014.....	59
Figura 29. Se observan las coberturas pastizal y pasto arbolado, se evidencia la presencia de ganado vacuno. Al fondo la Subunidad Geomorfológica Cerro Manzanillo. Fotografía tomada por María Patricia Torres, 2014.....	59
Figura 30. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua. Fotografía tomada por María Patricia Torres, 2014.	60
Figura 31. Subunidades Geomorfológicas susceptibles de inundación.	61

Índice de Tablas

Tabla 1. Área en hectáreas de las Subunidades geomorfológicas	51
Tabla 2. Provincia, unidades, Subunidades geomorfológicas y ambientes identificados en el área de estudio.....	52
Tabla 3. Coberturas identificadas en el área de estudio.	57
Tabla 4. Subunidades Geomorfológicas susceptibles de inundación en el área de estudio.....	61
Tabla 5. Uso del suelo asociado a cada tipo de cobertura.....	65
Tabla 6. Cobertura según Corine Land Cover y uso del suelo asociadas a las Subunidades Geomorfológicas.	66

1. Introducción

El bosque seco tropical (BST) es un ecosistema propio de tierras bajas y se caracteriza por presentar una fuerte estacionalidad de lluvias. Este bosque presenta altos niveles de endemismo, ya que la biodiversidad que alberga se ha adaptado a las condiciones de estrés hídrico. El BST brinda servicios ecosistémicos fundamentales para las comunidades humanas, por ejemplo, la captura de carbono, retención de suelos y regulación hídrica. Originalmente el bosque seco tropical cubría más de 9 millones de hectáreas, de las cuales queda el 8%, debido a que este ecosistema se encuentra en áreas de suelos relativamente fértiles que han favorecido el desarrollo urbano, siendo éstos idóneos para la producción ganadera y agrícola (Pizano *et al.*, 2020).

La marcada estacionalidad del BST, dicta los pulsos de inundación del río Patía, que a su vez inunda las áreas que geomorfológicamente son susceptibles a esta amenaza natural, por su cercanía a los ríos. Estas zonas constituyen ambientes estratégicos para el desarrollo de actividades humanas como la agricultura debido a la fertilidad de los suelos, por este motivo han sido históricamente intervenidas.

En Colombia existen estudios de bosques de inundación en las tierras bajas de la Amazonía y Orinoquía, pero poco se conoce de los bosques inundables localizados en las riberas de ríos de menor extensión y caudal como el río Patía, que cruzan los bosques secos tropicales de esta región del suroccidente colombiano; por esto, este trabajo busca brindar información sobre áreas inundables del bosque seco tropical del valle del Patía, en cuanto a su geomorfología fluvial y las coberturas asociadas.

2. Justificación

El acelerado deterioro del BST, a escala mundial (Miles *et al.*, 2006; Alvarado-Solano y Otero, 2015), da cuenta de la prioridad que se le debe dar a la realización de trabajos que aporten al conocimiento de este ecosistema para posteriormente generar planes para su conservación.

Debido a la alta diversidad que presenta, así como a sus características edafológicas y geomorfológicas (Linares-palomino y Oliveira-filho, 2011) el bosque seco tropical constituye un atractivo para el desarrollo de la agricultura y la ganadería, como sucede en el valle de Patía. Contribuir con el conocimiento de este ecosistema y en especial de los bosques secos inundables es de gran importancia para su conservación. Muchos relictos de estas áreas se han convertido en zonas destinadas al pastoreo y la agricultura. Así, el conocimiento sobre zonas inundables ofrece herramientas para la conservación del BST.

El equilibrio dinámico de un sistema está mediado por todos los elementos que lo componen y a su vez, de ella depende el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. Sobre los Bosques secos inundables poco se ha trabajado, es por esto que es importante conocer aspectos de la ecología y la geomorfología de los bosques secos inundables del río Patía. Estos bosques desempeñan un papel fundamental en el control de inundaciones y prevención de la amenaza por inundación, así como en los patrones de erosión y sedimentación; por lo tanto generar conocimiento acerca de la geomorfología fluvial, materiales que conforman las geoformas y los procesos relacionados a su formación (Carvajal, 2012), así como de

la cobertura asociada a los procesos geomorfológicos fluviales es necesario para acercarse al entendimiento de las dinámicas propias de este ecosistema.

De acuerdo con lo anterior y teniendo en cuenta que no existe documentación acerca de áreas inundables en el bosque seco y específicamente en el valle del Patía correspondiente a los departamentos del Huila y Cauca no hay áreas protegidas, y bajo la premisa de que, para conservar, preservar o utilizar los servicios de un ecosistema de manera sustentable es necesario primero conocerlo, se comprende la necesidad de realizar estudios cuyo objetivo sea contribuir al conocimiento de estas áreas, de tal manera que eventualmente se puedan diseñar e implementar estrategias para su gestión. Por esto, este trabajo busca, utilizando herramientas de Google Earth, conocer aspectos de la geomorfología y de la cobertura asociada en un tramo de la cuenca alta del río Patía.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Identificar los rasgos geomorfológicos fluviales y la cobertura asociada en el sector Potrerillos- El Puro, en la cuenca alta del río Patía.

3.2. Objetivos Específicos

Describir aspectos geomorfológicos fluviales en el sector Potrerillos- El Puro, cuenca alta río Patía y realizar la respectiva representación cartográfica.

Identificar áreas susceptibles de inundación en el sector Potrerillos- El Puro, en la cuenca alta del río Patía y realizar la respectiva representación cartográfica.

Determinar los tipos de cobertura en las áreas susceptibles de inundación del sector Potrerillos- El Puro, en la cuenca alta del río Patía y realizar la respectiva representación cartográfica.

Identificar por inferencia, factores antrópicos que han afectado la cobertura vegetal, en el sector Potrerillos- El Puro, en la cuenca alta río Patía.

4. Marco Teórico

El bosque seco tropical es una formación vegetal compuesta por árboles, arbustos, trepadoras, hierbas y epífitas que se desarrollan en regiones tropicales de piso cálido (Díaz, 2006), es un ecosistema ubicado entre los 0 – 1000 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas promedio de más de 24 °C y con una precipitación anual entre los 700 a 2000 mm (Corponor, 2015), se caracteriza además por presentar una fuerte estacionalidad de lluvias (García et al., 2014), donde la mayor precipitación se concentra en uno o dos periodos cortos de año: de mayo a junio y de octubre a noviembre (Díaz, 2006).

Debido al pulso de inundación del río que obedece a la marcada estacionalidad en este bosque, durante las temporadas de mayor precipitación, los sectores cercanos al río Patía por sus características geomorfológicas son sometidos a inundaciones periódicas. Estos sectores, como lo indica la Convención Ramsar (6^a ed.; Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013), corresponden a humedales del ámbito interior, sistema fluvial, subsistema intermitente y clase emergente (Barbier, 1997), se caracterizan por presentar una alta productividad primaria por deposición de nutrientes durante épocas de altos niveles de agua (Roldán y Ramirez, 2008); algunos factores que permiten el desarrollo de éstas áreas son cambios en la geomorfología del terreno, depresiones leves sobre la superficie y tipos de suelo con elevada proporción de arcilla, es decir con un mayor grado de impermeabilidad (Redes Chaco, 2015).

4.1 Geomorfología

Los ríos son uno de los mayores modificadores del relieve, que actúan generando dinámicas moldeadoras de las geoformas fluviales, que son la expresión superficial del terreno, de la interacción de los materiales que las constituyen, de la disposición estructural, de los procesos geomorfológicos exógenos y del tiempo de duración de la acción de los mencionados procesos. Las características geomorfológicas son de gran importancia porque ofrecen conocimiento acerca de la génesis, clasificación, procesos y evolución de las formas antiguas y actuales del terreno y su relación con las estructuras infrayacentes (Keller y Rockwell, 1984).

Para presentar información organizada y sistemática del terreno y los procesos que actúan sobre él, existe la cartografía, la cual es una técnica y arte que reúne el conjunto de actividades de oficina y campo tendientes a la elaboración de mapas, y constituye una herramienta valiosa para la espacialización de características ambientales para planificación y ordenamiento territorial. La cartografía temática tiene como objetivo presentar características de una distribución geográfica, así, la cartografía geomorfológica, siendo un tipo de cartografía temática, constituye una herramienta útil para brindar información sobre morfogénesis, la taxonomía geomorfológica, los procesos involucrados en la génesis y la evolución de las geoformas.

Con el ánimo de unificar los criterios y la metodología en la cartografía geomorfológica, José Henry Carvajal, en el año 2011, puso al servicio de la comunidad ambiental el documento *Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia*, documento que constituye una invitación a la comunidad académica, que

trabaja en las ciencias de la tierra y de la vida a utilizar jerarquías anidadas, cada una de las cuales representa unidades de la superficie terrestre, que reúnen, entre otros, aspectos similares en cuanto a génesis, procesos involucrados en su origen, materiales que constituyen las unidades, edades de formación, diseño topográfico de la distribución de las geoformas y ambientes morfogenéticos involucrados. Estas características se trabajan a diferentes escalas, de acuerdo al detalle de trabajo que requiere el estudio, lo cual a su vez define la categoría en la jerarquización.

La jerarquización de las unidades de la superficie terrestre, propuesta por Carvajal se ilustra en la Figura 1. Las categorías se definen dependiendo de la escala de trabajo, desde lo regional a lo particular, es decir, de estudios que se realizan con menor detalle a estudios que requieren mayor detalle.



Figura 1. Esquema de jerarquización propuesto por Carvajal, 2011. Tomado de Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio Geológico Colombiano (Carvajal, 2011)

Como muestra la Figura 1, las unidades de la superficie terrestre denominadas Geomorfoestructura y Provincia Geomorfológica corresponden a las categorías superiores, y se establecen cuando los estudios realizados son a escalas geográficas menores a 1:2.500.000 hasta 1:1.500.000. Las categorías inferiores se definen cuando

los estudios geomorfológicos se realizan a escalas de 1:1.000.000 hasta alcanzar escalas de 1:10.000, que corresponden a la jerarquía Componente Geomorfológico.

En escalas de trabajo entre 1:500.000 y 1:250.000, se agrupan geoformas relacionadas genética y geográficamente, donde se involucran los ambientes morfogenéticos y geológicos. Estos hacen referencia a las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas en las cuales se generan las geoformas que integran una Región Geomorfológica.

Carvajal (2011) agrupa de manera general los ambientes morfogenéticos en endógenos y exógenos. Los endógenos son: el morfoestructural, cuya convención para la cartografía es la letra (S), y se refiere, especialmente a plegamientos y fallamiento. El ambiente volcánico, para cuya cartografía se utiliza la letra (V), y hace referencia a las geoformas generadas, tanto por la intrusión como por la extrusión de materiales fundidos procedentes del interior de la tierra.

Los ambientes exógenos son: el denudacional (D), que incluye geoformas sometidas a procesos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que dejan remanentes de las unidades preexistentes y crean nuevas por la acumulación de sedimentos (SGC, 2015). El ambiente fluvial y lagunar (F), corresponde a las geoformas generadas por procesos de erosión y sedimentación producidas por corrientes de agua (Carvajal, 2011). El ambiente marino y costero (M), que está constituido por geoformas esculpidas por los procesos del mar; así como el ambiente glaciar y periglaciar (G), está determinado por geoformas que se han originado por glaciares continentales y de alta montaña (Carvajal, 2011).

También son ambientes exógenos, el ambiente eólico (E), que se encuentra definido por geoformas que se originaron por la acción del viento como modelador del paisaje (SGC, 2015); el ambiente karstico (K), que corresponde a las formas del terreno producto de la disolución de rocas carbonatadas (Carvajal, 2011); y el ambiente antropogénico (A), este ambiente se caracteriza por formas del terreno generadas por la actividad humana que modifica la superficie terrestre (Carvajal, 2011).

La categoría Regiones Geomorfológicas, está compuesta por las Unidades Geomorfológicas, que constituyen la unidad básica de la cartografía geomorfológica y se encuentra definida por una geoforma genéticamente homogénea, que ha sido generada por un proceso constructivo o destructivo típico de cada ambiente morfogenético. Su escala de trabajo está entre 1: 50.000 – 100.000 (Carvajal, 2011).

La categoría Subunidad geomorfológica, corresponde a una subdivisión de las Unidades Geomorfológicas y se determinan por contrastes morfológicos y morfométricos, que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los mismos con la topografía del terreno, también se encuentra definida por el contraste dado por las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación bien definidos. La escala de trabajo para esta categoría está entre 1: 10.000 y 1: 25.000.

De la misma manera, dentro de la categoría Subunidad Geomorfológica, se encuentra la categoría Componente Geomorfológico que es el máximo nivel de detalle en la jerarquización propuesta por Carvajal, se trabaja con escalas mayores de 1: 10.000, esta categoría está determinada por los rasgos del relieve, definidos en sitios específicos

y determinados por la morfometría detallada del terreno en una Subunidad Geomorfológica; puede estar definida también por microrrelieves asociados con una característica litológica o sedimentaria establecida mediante análisis detallados.

4.2 Teledetección y Sistemas de Información Geográfica

Para realizar estudios de geomorfología se utilizan herramientas de la teledetección tales como fotografías aéreas, imágenes satelitales e imágenes de radar que permiten la elaboración de cartografía geomorfológica. La teledetección, “*Remote Sensing*”, es una técnica mediante la cual es posible obtener información de objetos, áreas o fenómenos situados sobre la superficie terrestre sin mantener contacto físico con ellos (Gutiérrez Claverol, 1993); se basa en que los materiales de la superficie de la Tierra tienen una respuesta espectral propia por la que es posible identificarlos (Segado Vázquez, 1996).

Las herramientas de teledetección más utilizadas en el medio, son las fotografías aéreas, las imágenes de satélite y actualmente las tecnologías Lidar. Por otra parte, las imágenes, de distribución gratuita y de fácil acceso, de Landsat de Google Earth, navegador geográfico con una amplia selección de capas utilizables en su base de datos, teniendo en cuenta características geodésicas y planimétricas según sea necesario.

La herramienta Google Earth, permite trabajar archivos kml o Kml los cuales son compatibles con diferentes sistemas de información geográfica (SIG) como ArcGIS, buscar ubicaciones específicas, además de realizar puntos, líneas y polígonos y trabajar información vector y raster. Varias versiones de Google Earth están disponibles para su

descarga gratuita en la página de versiones de Google Earth de Google (Macdonald, 2004).

ArcGIS es un sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica; es utilizado para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario (ArcGIS Resources, 2020).

Dentro de la aplicación ArcGIS, existen los Basemaps, que como su nombre lo indica son mapas utilizados como base para obtener información básica y temática y sobre los cuales se puede superponer datos de capas elaboradas con herramientas de GIS con diferentes extensiones. Hay diversos mapas base, tales como mapas base topográficos, mapas de “National Geographic” e imágenes de satélite, entre otros mapas.

Los Basemap pueden estar en formato vector o en formato raster. Los basemap en formato raster, como las imágenes de satélite, los cuales tienen la información organizada en matrices de celdas o píxeles, cada uno de ellos con información de la radiación electromagnética de los diferentes elementos de la superficie terrestre. Los diferentes formatos que ofrecen los Basemaps, son de gran utilidad para la ejecución de distintos proyectos; además, los Basemaps son la base de la cartografía aplicada y proporcionan contexto para la definición de áreas de trabajo (ArcGIS Resources, 2020).

Existen otras herramientas de gran utilidad para la obtención de información temática de diferente índole, como son los Modelos Digitales de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés), los cuales son una representación visual y matemática de los valores

de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve al procesarlo en un SIG (INEGI. Modelos Digitales de Elevación (MDE) – Descripción).

Dentro de las aplicaciones de los SIG se encuentra la generación de cartografía temática de manera automática, clasificando la imagen mediante la extracción de clases de información de cada pixel de una imagen raster. Existen dos tipos de clasificación y se discrimina la realización de una u otra dependiendo de si existe un conocimiento previo de la zona, los tipos de clasificación son la supervisada y la no supervisada.

En contraste con lo anterior, es posible también generar cartografía temática realizando interpretación elementos de imágenes, tal como lo planteó van Zuidam (1985), observando sistemáticamente características del terreno, tales como el tono, la textura, el patrón, la forma, el tamaño, la sombra, sitio topográfico y situación geográfica, es posible clasificar una imagen.

4.3 Cobertura y Uso de la Tierra

Otro aspecto clave para la caracterización del paisaje, el cual se define según Zonneveld (1995) citado en Durán (2002) como un complejo de sistemas que conforman una extensión de terreno que es reconocible, está formada y mantenida por la acción de factores bióticos, abióticos y humanos, es la cobertura de la tierra, constituida por las características biofísicas que se observan sobre la superficie de la misma. Esta describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes, además de otras superficies como afloramientos rocosos y cuerpos de agua (Di Gregorio, 1996). Para la identificación de coberturas de la tierra, el proyecto CORINE Land Cover, definió una metodología, la cual

permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, que se interpretan empleando imágenes de satélite de resolución media, para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas.

La leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra (2010) presenta una adaptación de la metodología CORINE Land Cover, para caracterizar de manera sistemática y unificada las coberturas del país, presentan cinco grandes grupos de cobertura: territorios artificializados, territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales, áreas húmedas y superficies de agua, los cuales a su vez se dividen en subgrupos, creando una estructura jerárquica.

5. Antecedentes

El Instituto Alexander von Humboldt verificó y validó 585 puntos geográficos de referencia en las áreas secas del país para construir el mapa de bosque seco tropical 1:100.000 para Colombia. La cobertura de bosque seco en Colombia en un alto porcentaje está en estado sucesional, son bosques secundarios que están bajo presión por diferentes actividades como la tala y uso del suelo. El mapa presenta cinco zonas del país donde ocurren las áreas secas, como son: la costa Caribe, la zona NorAndina (Santander y Norte de Santander), el valle del río Cauca, el valle del río Magdalena y el valle del río Patía (García et al., 2014).

En el bosque seco del Valle del río Patía se han realizado estudios relacionados con su estructura y composición florística. Un trabajo realizado por Vergara-Varela (2015) particularmente evalúa los cambios en la cobertura empleando fotografías aéreas e imágenes de satélite y los relaciona con los tipos de uso de la tierra. El autor identifica tres estratos en la vegetación, seis tipos estructurales y seis tipos florísticos, hace énfasis en que se ha producido un incremento de la cobertura de pastizal y una reducción de los fragmentos de bosque.

La composición y estructura florística fue estudiada por Erazo *et al.* (2018) a través de levantamientos rápidos en un fragmento de bosque seco tropical de sucesión secundaria en el municipio de Patía; se registraron 369 individuos pertenecientes a 12 familias, 16 géneros y 17 especies.

De la misma manera, la relación de la cobertura vegetal con las unidades geomorfológicas según el uso de la tierra, en un área correspondiente a BST en la

quebrada Matacea en el valle del Patía, fue analizado por Rengifo (2019), delimitando unidades geomorfológicas e interpretando la cobertura y el uso de la tierra, mediante el análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales, complementando el estudio teórico con visitas de campo y el establecimiento de parcelas localizadas en sitios estratégicos, definidos en visitas de campo. En estas parcelas se realizó colecta de especies vegetales registrando también el número de individuos.

Con la información obtenida se calcularon y analizaron índices de diversidad y se definieron las relaciones entre unidades geomorfológicas y la vegetación; encontrando ocho unidades geomorfológicas correspondientes a tres ambientes morfogenéticos, además, ocho coberturas vegetales, 88 especies distribuidas en 69 géneros y 36 familias botánicas. De la misma forma se evidenció una alta diversidad beta entre las unidades geomorfológicas y se caracterizó esta zona como un bosque multiestratificado en estado sucesional secundario. Por último, se confirmó la relación entre la vegetación y las unidades geomorfológicas específicamente con las de origen fluvial y denudacional.

Otro aporte al conocimiento del BST del valle del Patía, lo realizó Fernández (2019), al vincular los factores edáficos con la ocurrencia de especies en áreas con diferentes tipos de uso mediante un análisis multivariado; se determinó la riqueza y abundancia de especies, además de la composición física y química del suelo, donde se encontraron cuatro unidades de suelo y se identificaron los tipos de uso de la tierra.

Dentro de los resultados obtenidos en esta investigación se observa que la zona (parte baja de la quebrada Matacea, ubicada en el departamento del Cauca, municipio de Mercaderes, corregimiento de El Vado, en los límites de los departamentos de Cauca

y Nariño) a pesar de haber sufrido intervención antrópica, tiene una importante representación de especies vegetales de BST. De la misma forma, las características del suelo dan cuenta de la resiliencia del sistema. Sin embargo, no se consideran suelos fértiles, concluyendo que las interacciones entre factores edáficos y la vegetación son tan diversas que no es posible establecer una correlación directa, ya que deben ser evaluados gran cantidad de factores ambientales.

Según el Programa Nacional para la Conservación y Restauración del Bosque Seco Tropical en Colombia (PNCBST, 2021), el valle del Patía presenta una situación crítica ya que la cobertura de BST es mínima, los relictos de bosque son los más pequeños de todo el país y su estado sucesional corresponde en su mayoría a rastrojos y bosque secundario y está sometido a presiones como la erosión del suelo, minería, infraestructura humana y quemas.

La geomorfología fluvial ha sido ampliamente estudiada internacionalmente enfocada hacia la amenaza por inundación, ejemplos de esto es el trabajo de Gil (2011), donde se evaluaron índices morfométricos de la cuenca del arroyo El Negro, la cual presenta crecidas súbitas producto de las lluvias torrenciales y presenta una amenaza para las comunidades humanas en Argentina. Así como Díez (2004) empleó herramientas matemáticas y SIG, para modelar la respuesta de la red de drenaje del río Alberche (Península Ibérica) cuenca ante crecidas y predecir las consecuencias por intervención humana.

En Colombia, Valbuena (2017) determinó la geomorfología y las condiciones hidráulicas del sistema fluvial del río Sinú, definiendo unidades limitadas por el lecho

mayor y planicies de inundación. También Robertson y colaboradores (2011) investigaron las amenazas fluvio-volcánicas y fluvio-torrenciales que podrían afectar a las poblaciones del piedemonte amazónico de Colombia, analizando la geomorfología regional en imágenes satelitales Landsat y fotografías aéreas.

Es importante resaltar que para el Valle del Patía no existen trabajos de investigación sobre geomorfología fluvial, tampoco existen estudios de áreas inundables asociadas al bosque seco tropical.

6. Marco Metodológico

6.1. Área de Estudio

El área de estudio seleccionada corresponde a 30 Km del trayecto del río Patía entre los centros poblados Las Tallas y Olaya aproximadamente con las siguientes coordenadas: 77,160085 W; 2,138786 N. 77,049449 W; 2,13501 N. 77,062022 W; 1,987927 N. 77,165233 W; 1,993273 N. Para su estudio se evaluaron imágenes de satélite Landsat/Copernicus, Maxar Technologies y CNES/Airbus de Google Earth, así como imágenes del Basemap de ArcGIS. El área comprende elementos relevantes para hacer un análisis de la dinámica fluvial, de las áreas susceptibles a inundaciones (Figura 2).

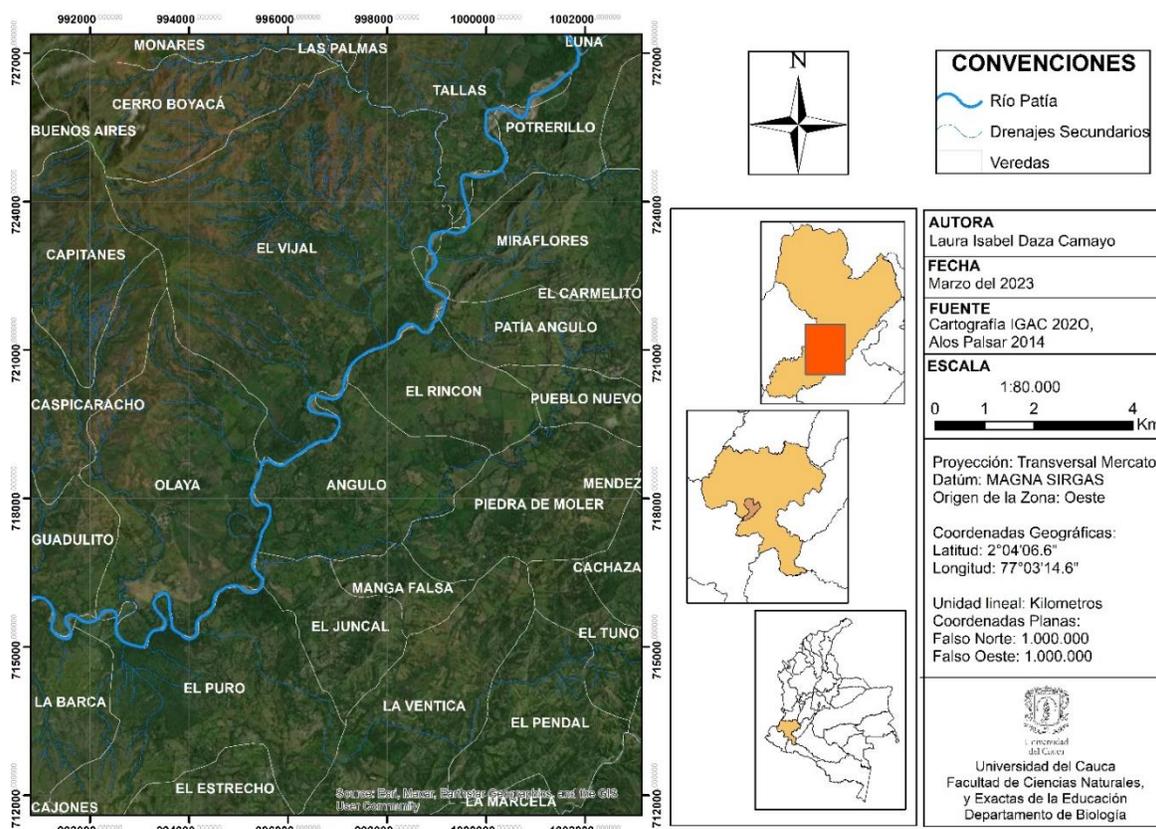


Figura 2. Ubicación general del área de estudio.

6.2. Primera Etapa: Procesamiento de Imágenes y Determinación del Área de Trabajo

Para delimitar el polígono correspondiente al área de trabajo se revisaron imágenes satelitales disponibles en Google Earth, se creó un polígono con formato kml, que incluye áreas del flanco oriental de la cordillera Occidental, del flanco occidental de la cordillera Central y un tramo de aproximadamente 30 kilómetros del río Patía.

6.2.1. Corrección Inicial de Modelo Digital de Elevación

El modelo digital de elevación (Alos Palsar, 2014 con resolución 12.5 m, obtenido del portal "asf.alaska.edu"), correspondiente a la zona de estudio se llevó a ArcGIS, donde se utilizó la herramienta *Fill*, del *Toolbox*. Este procedimiento permite corregir errores que pueden presentarse debido a la resolución del DEM los cuales se conocen como sumideros o picos. Los sumideros son celdas con dirección de drenaje indefinida y los picos son celdas sin ningún valor de elevación adyacente más elevado. Es importante el uso de la herramienta, debido a que evita discontinuidades en la red de drenaje a representar teniendo en cuenta las condiciones particulares del DEM.

6.2.2. Mapa de Pendientes

Tras realizar el *Fill*, y con el fin de realizar el mapa de pendientes se utilizó la herramienta *Slope* del *Toolbox* la cual considera una matriz local de pendientes para cada unidad representativa del DEM, haciendo un cálculo de la mayor diferencia entre la cota de dos puntos adyacentes y creando una clasificación por rangos con estos datos. Además, con la herramienta *Reclass* de ArcGIS y teniendo en consideración la propuesta de rangos de pendiente de Carvajal 2011, se ajustaron estos rangos de pendiente.

6.2.3. Sistema de Drenaje

La digitalización del sistema de drenaje, se realizó mediante la observación e interpretación de la imagen de satélite del *Basemap* de ArcGIS y las imágenes de satélite Landsat de Google Earth Pro, se cortó el polígono del área de trabajo, siguiendo el curso del río Patía y sus tributarios, con el fin de obtener el cauce principal y el drenaje secundario.

6.3. Segunda Etapa: Cartografía Temática

Utilizando la herramienta Mask de ArcGis y con la información suministrada por el mapa de pendientes elaborado en la fase primera, se seleccionó y se recortó el área que incluye pendientes menores a 10° , correspondiente a un polígono de 10.900 hectáreas, sobre el cual se realizó la cartografía digital sin control de campo, teniendo en cuenta algunas de las características para la interpretación de imágenes planteadas por van Zuidam en 1985.

6.3.1 Cartografía Geomorfológica

Siguiendo los lineamientos planteados por Carvajal (2011) para la realización de mapas geomorfológicos basados en la jerarquización de las geoformas, se realizó el mapa de la geomorfología del área seleccionada, además para identificar características específicas de cada forma del terreno, como la longitud y forma de las laderas, se realizaron perfiles de elevación en Google Earth. Los polígonos correspondientes a las Subunidades Geomorfológicas se definieron según el tono, el color y la textura observadas en las imágenes satelitales, también se tuvo en cuenta el tipo de pendiente y su grado de inclinación, el patrón y la densidad del drenaje. Las características geológicas de las unidades geomorfológicas (origen litológico y unidad geológica) se

definen de acuerdo a la cartografía geológica de las siguientes planchas geológicas del Instituto de Investigaciones Geológicas (INGEOMINAS), hoy Servicio Geológico Colombiano (SGC): 363 Argelia (2005), 364 Timbío (1998), 386 Mercaderes (1999) y 387 Bolívar (1999) de INGEOMINAS.

6.3.2 Áreas Susceptibles de Inundación

Con base en el modelo de elevación (DEM), la imagen de *Basemap* de ArcGIS y Google Earth, el mapa de pendientes, y el mapa geomorfológico, se identificaron las áreas susceptibles de inundación.

Teniendo en cuenta los criterios geomorfológicos, pendiente hasta 10 ° y ambiente morfogenético Fluvial, se catalogaron las Subunidades geomorfológicas como susceptibles de inundación o no susceptibles de inundación.

6.3.3 Mapa de Coberturas

A partir del mapa geomorfológico, y una vez identificadas las áreas susceptibles de inundación, se realizó una interpretación de la cartografía de las coberturas asociadas a las unidades geomorfológicas. Para esta cartografía se adaptó la leyenda de coberturas según la metodología Corine Land Cover (CLC) adaptada desde la Leyenda Nacional de Coberturas (IDEAM, 2010). Se tuvo en cuenta la unidad mínima cartografiable para la escala 1:25.000, y los polígonos fueron definidos manualmente teniendo en cuenta el tono, el color y la textura observada en las imágenes de satélite del *Basemap* de ArcGIS y Google Earth Pro.

6.3.4. Inferencia de Factores Antrópicos Responsables de la Transformación de la Cobertura

Por medio de la interpretación de la imagen satelital del *Basemap* de ArcGIS y Landsat de Google Earth, así como la revisión bibliográfica donde se incluyen estudios previos donde se evalúa el uso del suelo (Vergara-Varela, 2015) y el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de Patía (2003), se le asignó a cada tipo de cobertura, un uso del suelo, el cual corresponde a los factores antrópicos responsables de la modificación del paisaje a nivel de cobertura vegetal.

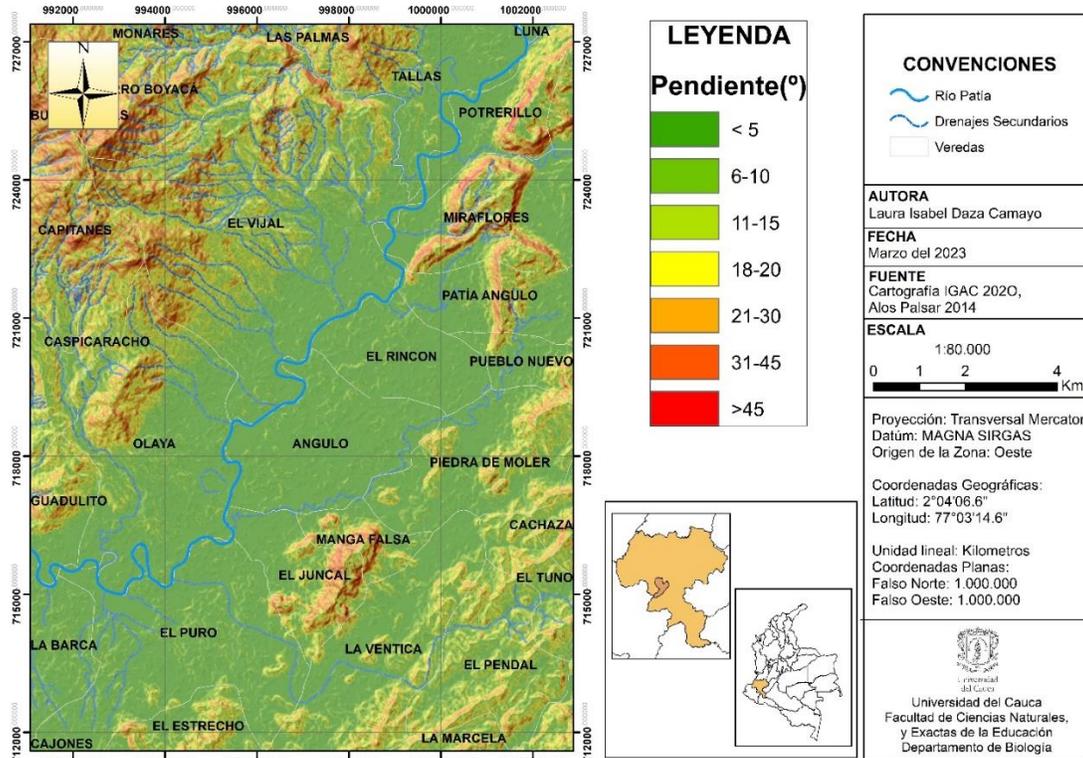


Figura 4. Mapa de pendientes.

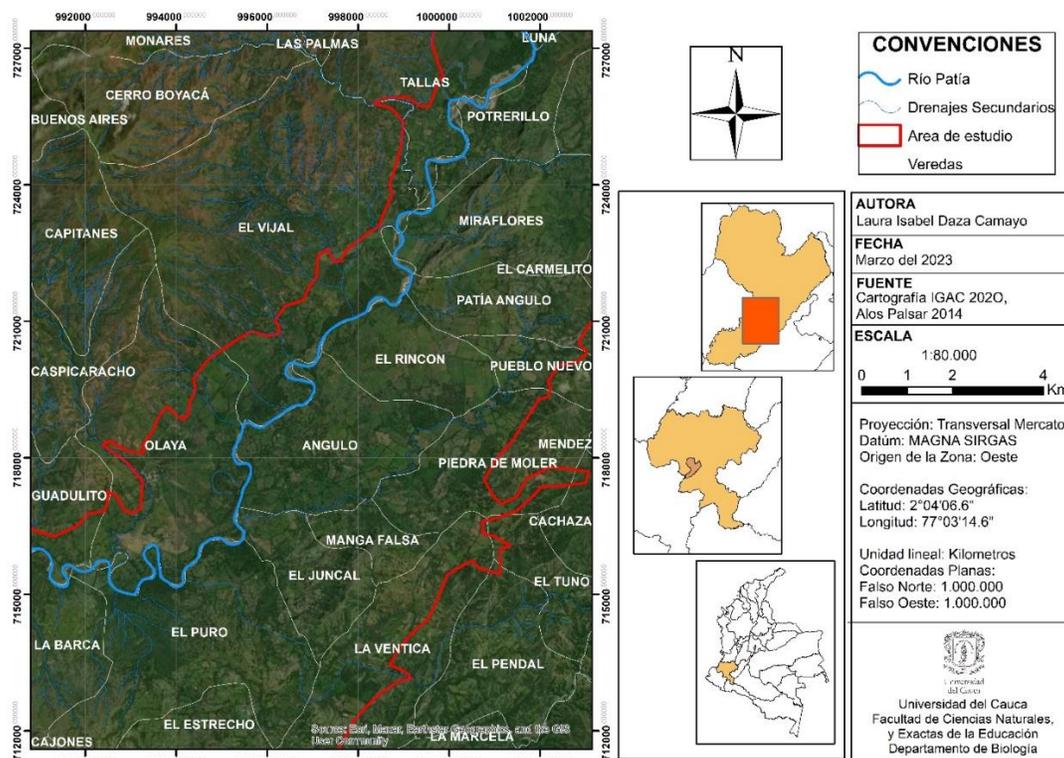


Figura 5. Área de estudio

7.1. Geomorfología

El área de estudio se caracteriza por la existencia de ambientes morfogenéticos (Figura 6) de tipo fluvial (F), que ocupa el 65% del área, denudacional (D) con 29% y estructural (S) con 6% del área total; siendo el ambiente fluvial el más representativo. Estos ambientes morfogenéticos son responsables de las geoformas agradacionales y degradacionales presentes en el área y se relacionan con los procesos de erosión y depositación.

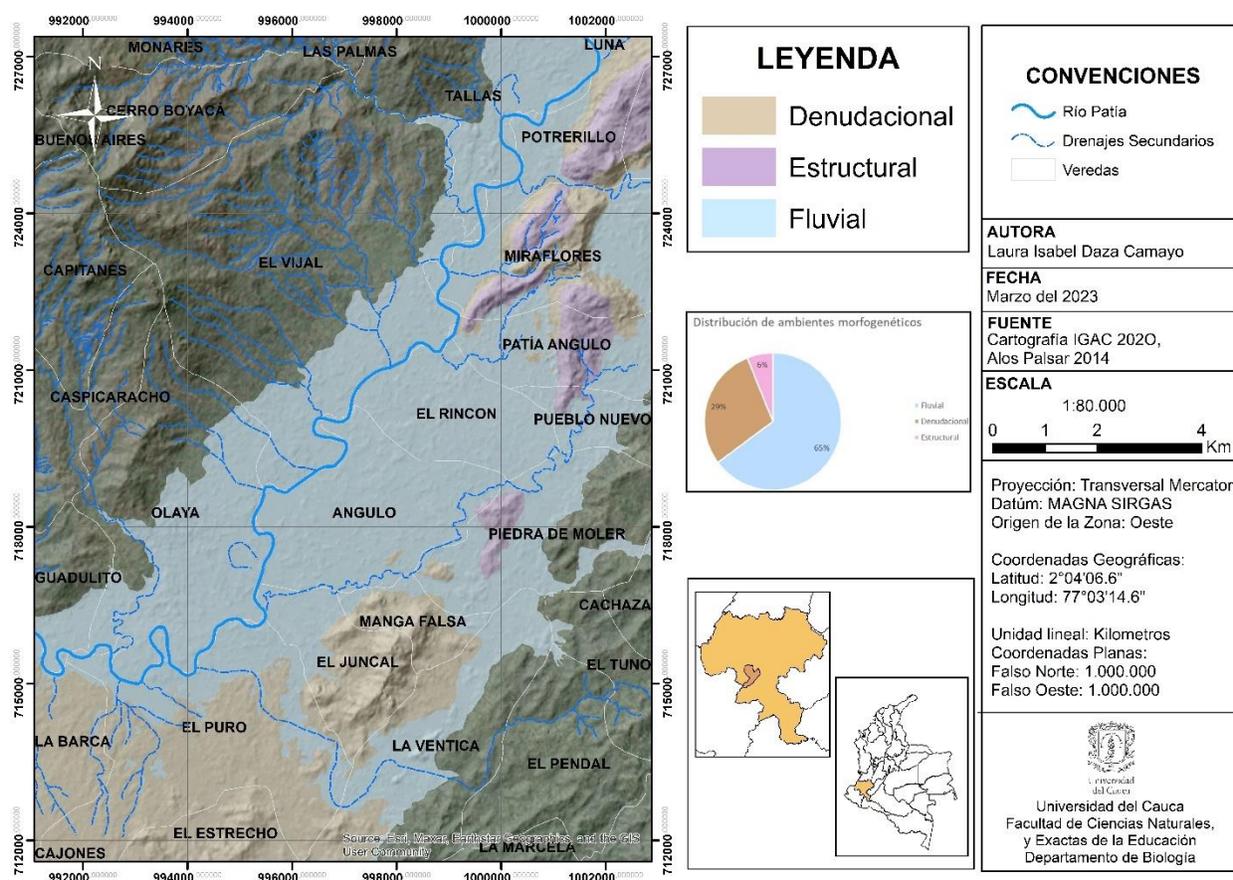


Figura 6. Ambientes Morfogenéticos.

El reconocimiento de los ambientes morfogenéticos permite la identificación de las dieciséis Subunidades geomorfológicas, las cuales se describen a continuación y se presentan en la Figura 7.

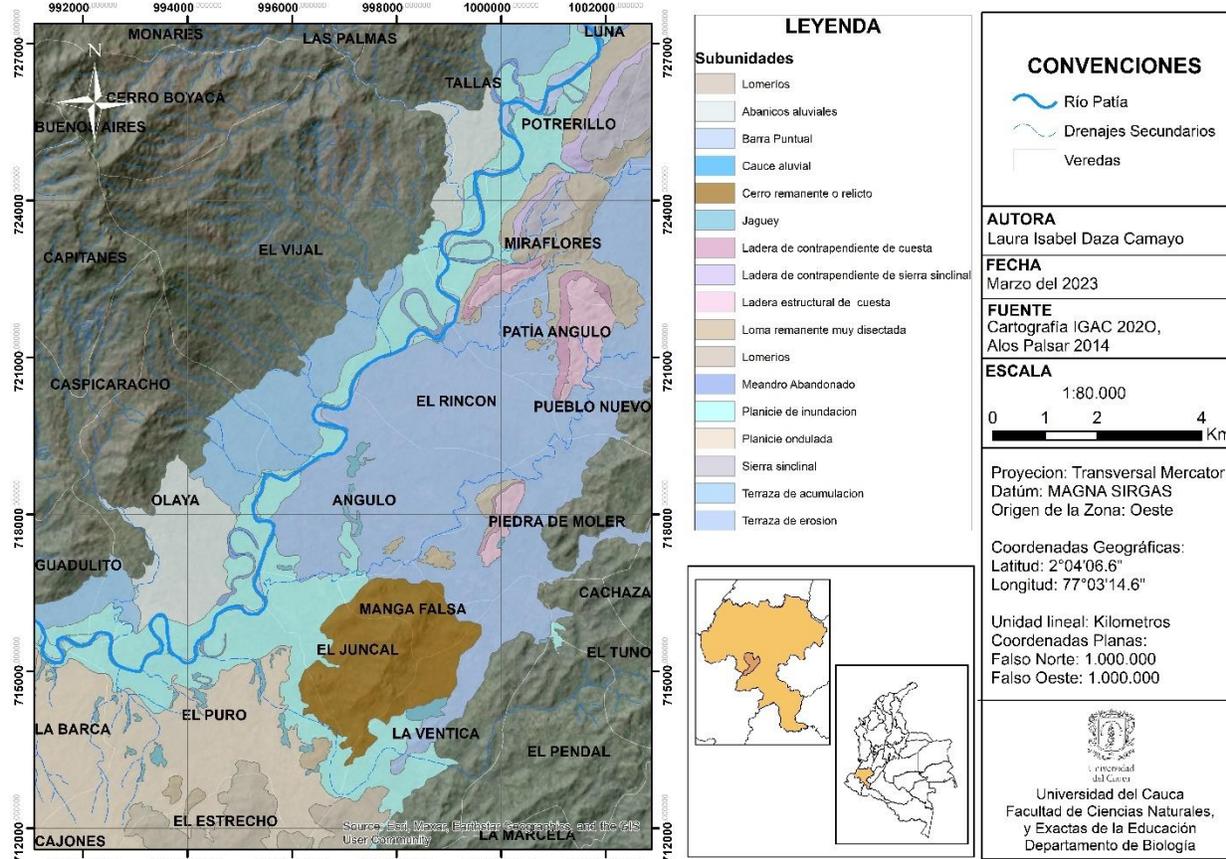


Figura 7. Subunidades geomorfológicas.

7.1.1. Subunidades Geomorfológicas de Ambiente *Morfogenético Fluvial*

En general estas Subunidades se asocian a procesos de erosión y depositación del río Patía y los afluentes. Son planas a ligeramente onduladas y las pendientes varían de los 0 a los 10° y están conformadas por arenas finas a gruesas y conglomerados

Subunidad Geomorfológica de Abanicos Aluviales (Faa). En el área de estudio se observan dos Abanicos Aluviales que corresponden a extensiones de terreno con geofomas de abanico como su nombre lo indica, con los ápices apuntando hacia el flanco oriental de la cordillera Occidental y sus frentes hacia el valle del Patía. La morfología de estos abanicos es ondulada aterrada, con pendientes de 6° a 10°. Las

laderas de las áreas onduladas son muy cortas con formas cóncavas y convexas y el patrón de drenaje es distributivo con variaciones a subparalelo.

Estos abanicos están conformados por depósitos aluviales de gravas, arenas pumáceas y arcillas blancas de edad cuaternaria (Qal).

El abanico del río Capitanes es el más sobresaliente del área de trabajo y su origen, como el de todos los abanicos aluviales, se asocia a la acumulación fluvial del material erosionado por el río Capitanes, que en la cordillera Occidental es estrecho, y posteriormente es depositado en forma radial, sobre el área plana y amplia de la Subunidad Geomorfológica Planicie de Inundación del río Patía.



Figura 8. Subunidad Geomorfológica Abanico Aluvial, Abanico del río Capitanes. Imagen Landsat/Copernicus y CNES/Airbus 2022, tomada de Google Earth Pro. La línea blanca representa el perfil topográfico realizado.

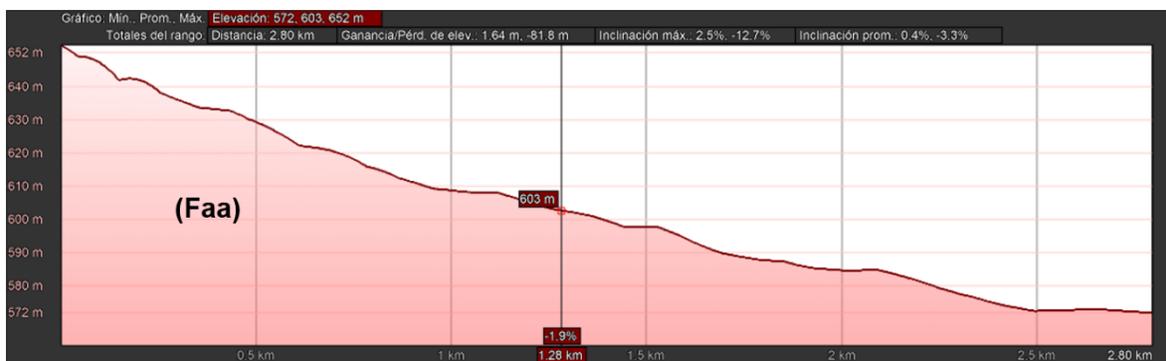


Figura 9. Perfil topográfico del Abanico de Capitanes, de dirección W-E, realizado en Google Earth Pro. La escala vertical se exagera.

Subunidad Geomorfológica Barras Puntuales (Fbp). Estas Subunidades Geomorfológicas se localizan en las partes cóncavas de los meandros del río Patía. Son producto de la erosión y depositación del río, el cual erosiona sedimentos en las áreas externas (convexas) de las curvas de los meandros, donde el río tiene mayor velocidad y acumula en las áreas internas (cóncavas), donde el río tiene menor velocidad. *Presentan una morfología suavemente ondulada y están constituidos por sedimentos arenosos finos con material fino arcilloso.* Las pendientes de las barras puntuales son menores de 5° (Figura 10).

Subunidad Geomorfológica Cauce Aluvial (Fca). La Subunidad Geomorfológica denominada Cauce Aluvial la constituye el cauce principal del río Patía, que en el área de trabajo se extiende por 30 Km. El patrón de drenaje del río Patía en el área de estudio es meándrico, debido a que fluye en una planicie de inundación amplia, lo cual le permite tener un cauce amplio, construido sobre material no consolidado. Asociadas a la Subunidad Geomorfológica Cauce aluvial se encuentran las Subunidades denominadas Barras Puntuales y Meandros Abandonados. (Figura 10).

Subunidad Geomorfológica Meandros Abandonados (Fma). esta Subunidad Geomorfológica se encuentra asociada al Cauce Aluvial. Ellos son remanentes de la antigua Subunidad Geomorfológica Cauce Aluvial del río Patía, que fueron generados en algunos casos por la migración lateral de la corriente hacia la parte contraria de la concavidad y en otros, por la erosión en las curvas externas de dos meandros, que hace que algunos trayectos del río Patía con patrón meándrico se transformen en trayectos rectos. La pendiente sobre la que esta geoforma se desarrolla no supera los seis grados de inclinación en el área de estudio (Figura 10). Se encuentran localizados en la Subunidad Geomorfológica Planicie de Inundación.

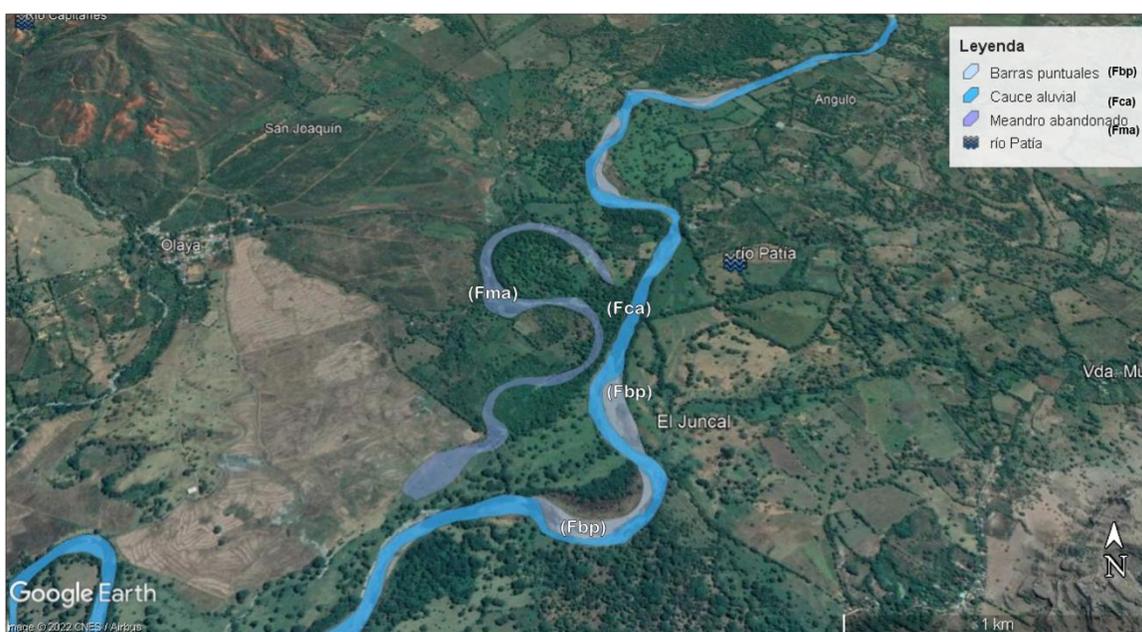


Figura 10. Subunidades Geomorfológicas Barras Puntuales, Cauce Aluvial y Meandros Abandonados. Imagen CNES/Airbus 2022, tomada de Google Earth Pro.

Subunidad Geomorfológica Planicie de Inundación (Fpi). Esta Subunidad Geomorfológica se extiende a lo largo de la Subunidad Geomorfológica Cauce Aluvial del río Patía. Esta Subunidad se encuentra localizada aproximadamente a 567 m.s.n.m., se

caracteriza por ser plana a ligeramente ondulada, con pendientes menores de 5° . De acuerdo al mapa geológico de las planchas 363 Argelia ((2005), 364 Timbío (1998), 386 Mercaderes (1999) y 387 Bolívar (1999) de INGEOMINAS, está formada por depósitos del Cuaternario (Figura 11).

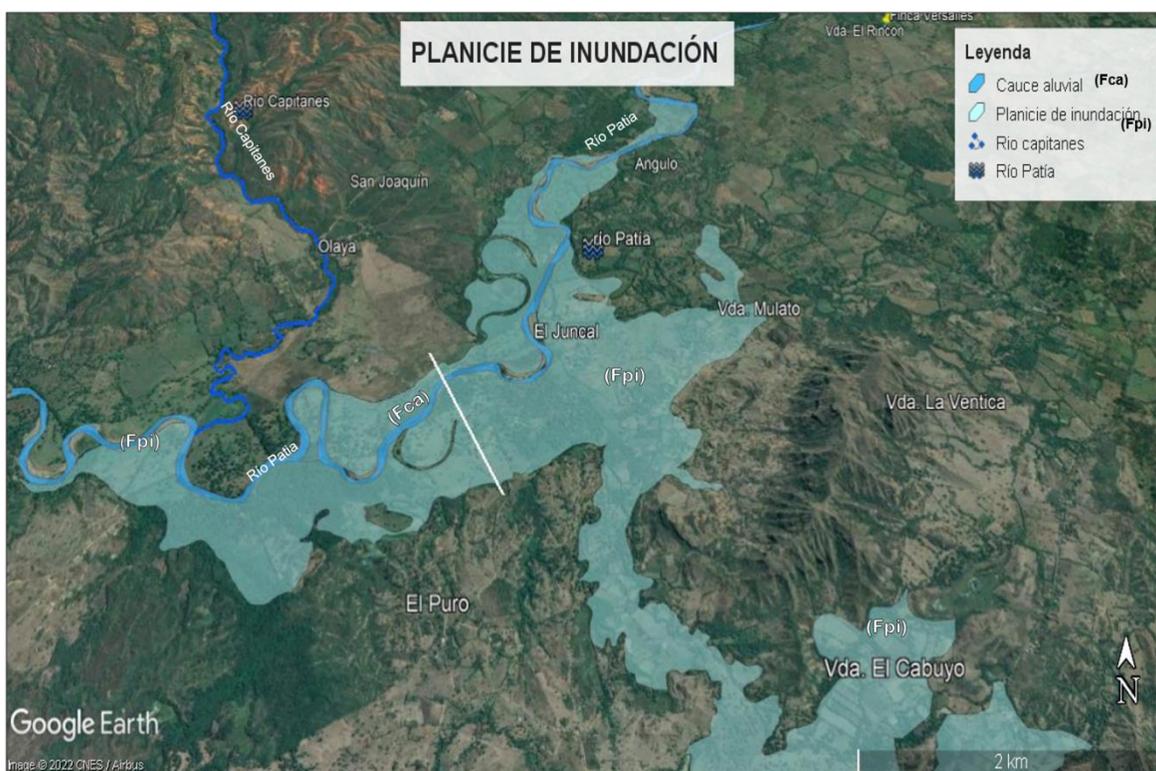


Figura 11. Subunidad Geomorfológica Planicie de Inundación. Imagen CNES/ Airbus 2022, tomada de Google Earth Pro.

En el perfil topográfico (Figura 12) se observa que la Subunidad Geomorfológica Planicie de Inundación es plana a ligeramente ondulada y se encuentra aproximadamente entre 570 y 600 m.s.n.m.

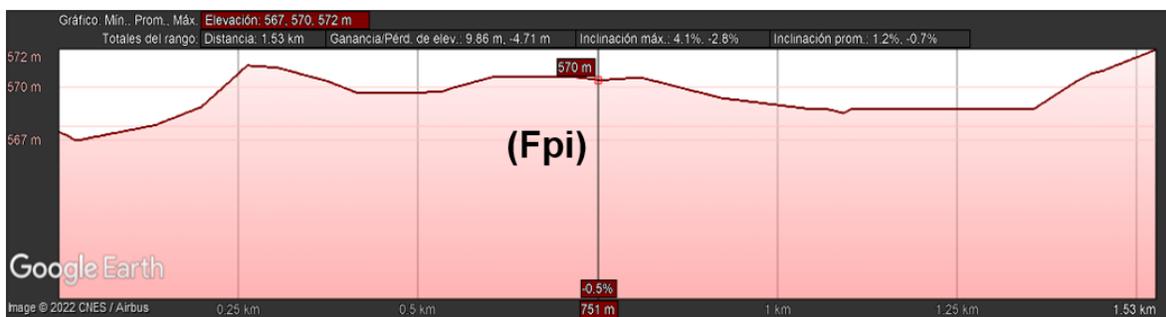


Figura 12. Perfil topográfico de la Planicie de Inundación, en dirección NW-SE. Realizado en Google Earth Pro.

Subunidad Geomorfológica Terraza de Acumulación (Fta). Corresponde a una Subunidad Geomorfológica de morfología plana a suavemente ondulada modelada sobre sedimentos aluviales, por procesos erosivos y de acumulación fluvial. Se constituyen de gravas, arenas, limos y arcillas, según los mapas geológicos de las planchas 363 Argelia, 364 Timbío y 386 Mercaderes de INGEOMINAS. Su pendiente varía entre 0 a 10 grados en el área de estudio (Figura 13).

Subunidad Geomorfológica Terraza de Erosión (Fte). La Subunidad Geomorfológica que se denomina Terraza de Erosión, corresponde a planos elongados que presentan morfología plana a suavemente ondulada, generada por procesos de erosión aluvial del río Patía. Este tipo de terraza se asocia a la erosión lateral y procesos de levantamiento tectónicos. Su pendiente no supera los 10 grados y se encuentra limitada por geoformas de diferentes alturas y origen. Su litología corresponde a depósitos del Cuaternario según los mapas geológicos de las planchas 363 Argelia, 364 Timbío, 386 Mercaderes y 387 Bolívar de INGEOMINAS (Figura 13).



Figura 13. Subunidades Geomorfológicas Terraza de Erosión y Terraza de Acumulación. Perfil topográfico de dirección W-E. Imagen CNES/Airbus y Maxar Technologies 2022, tomada de Google Earth Pro.

En la Figura 14 se observa un perfil topográfico cruzando de occidente a oriente las Subunidades Geomorfológicas Terraza de Acumulación y Terraza de Erosión, la primera se encuentra hacia la orilla occidental del río Patía y la segunda en la orilla oriental. Se evidencia la diferencia de alturas sobre el nivel del mar, donde la altura máxima de la Terraza de Acumulación es 579 m.s.n.m y la altura máxima de la Terraza de Erosión es aproximadamente 592 m.s.n.m. También se observa una sección del corte sobre la Planicie de inundación que se encuentra aproximadamente a los 574 m.s.n.m.



Figura 14. Perfil topográfico de dirección SW-NE, sobre las Subunidades Geomorfológicas Terraza de Erosión y Terraza de Acumulación. Realizado en Google Earth Pro. Se observa la Planicie de Inundación en la franja roja entre los 2.25 y 3 km del perfil.

Subunidad Geomorfológica Jagüey (Fja). Esta Subunidad Geomorfológica la constituyen áreas pantanosas o humedales que se presentan sobre canales de poca extensión que han sido excavados por la corriente intermitente dada en zonas eventualmente inundables. Su morfología es irregular y presenta pendientes de planas a ligeramente inclinadas (Figura 15).



Figura 15. Subunidad geomorfológica Jagüeyes. Imagen CNES/Airbus 2022, tomada de Google Earth Pro.

7.1.2. Subunidades Geomorfológicas de Ambiente Morfogenético

Denudacional

Subunidad Geomorfológica Cerro Remanente o Relicto (Dcrem). Esta Subunidad Geomorfológica es conocida localmente como el cerro Manzanillo y sobresale de la topografía circundante dominada por geformas de origen fluvial. Presenta laderas con pendientes hasta de 45°, de forma convexa. Esta Subunidad Geomorfológica constituye un remanente topográfico aislado, conformado por depósitos volcánicos y volcanosedimentarios de la unidad geológica Formación Galeón que son actualmente sometidos a procesos de erosión y meteorización diferencial. Presenta una geforma colinada.

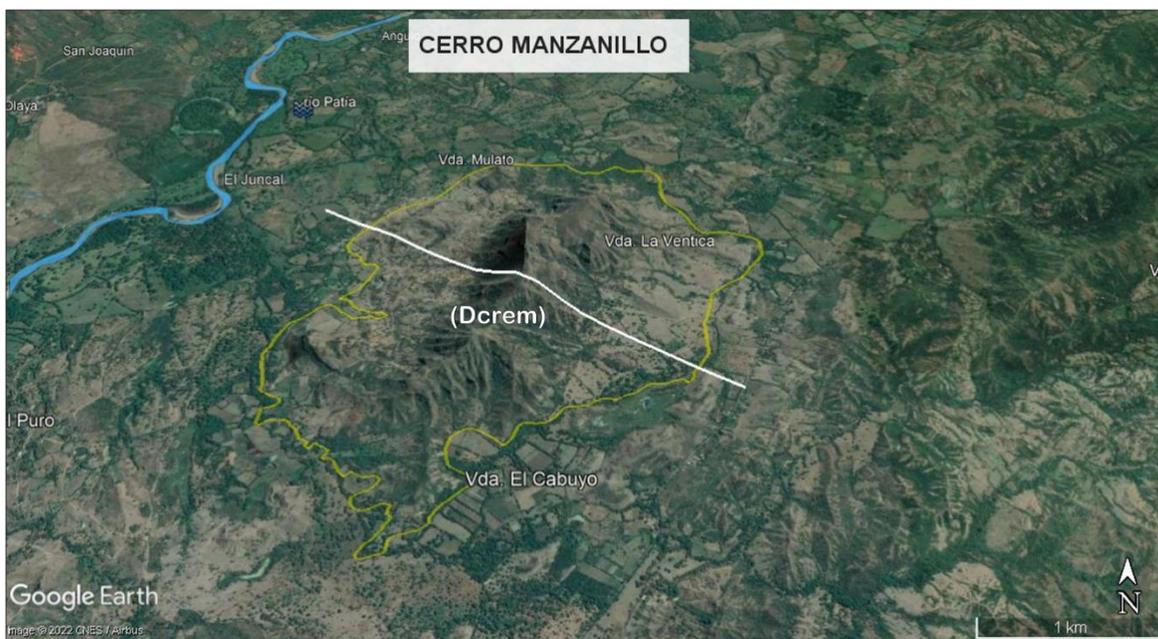


Figura 16. Subunidad Geomorfológica Cerro Remanente o Relicto, correspondiente al cerro Manzanillo. Imagen CNES/Airbus 2022, tomada de Google Earth Pro.

De acuerdo al perfil topográfico del cerro Manzanillo (Figura 17), es un cerro aislado cuya mayor altitud ronda los 800 m.s.n.m. y sobresale en la unidad Geomorfológica Planicie aluvial localizada entre 570 y 600 m.s.n.m.

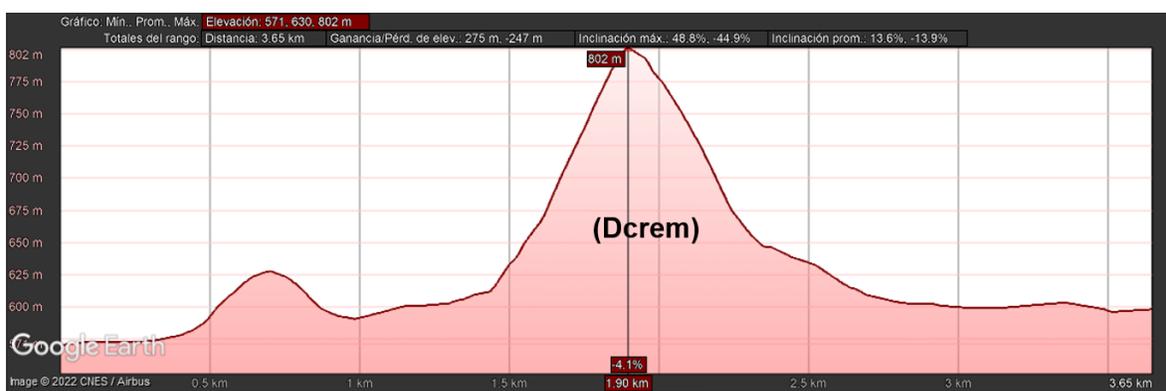


Figura 17. Perfil topográfico de dirección W-E del Cerro Manzanillo. Realizado en Google Earth Pro.

Subunidad Geomorfológica Loma Remanente Muy Disectada (Dlrem). Esta Subunidad Geomorfológica está constituida por lomas aisladas y alargadas, situadas a 620 m.s.n.m., con pendientes estructurales planas a cóncavas, que alcanzan hasta 10° de inclinación y drenaje denso dendrítico a subparalelo. Las lomas remanentes están compuestas por depósitos volcánicos y volcanosedimentarios, cuya unidad geológica corresponde a la Formación Galeón según los mapas geológicos de las planchas 364 Timbío y 386 Mercaderes. Desde su nivel de base local se eleva hasta 200 metros, presenta laderas con longitudes entre los 75 y 450 metros. Se encuentran afectadas por procesos de meteorización y erosión diferencial intensos. Figura 18.



Figura 18. Subunidad Geomorfológica Loma Remanente Muy Disectada. Imagen CNES/Airbus 2022, tomada de Google Earth Pro.

En el perfil topográfico (Figura 19), se observa que específicamente la loma remanente indicada en la Figura 18, presenta una altitud máxima de 618 m.s.n.m y

corresponde a una expresión topográfica que sobresale en la Subunidad Geomorfológica Terraza de Acumulación.



Figura 19. Perfil topográfico de una Loma Remanente muy Disectada, de sentido NW-SE. Realizado en Google Earth Pro.

Subunidad Geomorfológica Planicie Ondulada (Dpo). Esta Subunidad Geomorfológica, mayormente plana, cuenta con pendientes que varían entre los 0 y 10 grados de inclinación. Esta planicie tiene una gran extensión de terreno, comparada con otras Subunidades, aproximadamente 1490 hectáreas. Según el mapa geológico de la plancha 386 Mercaderes de INGEOMINAS, esta Subunidad Geomorfológica pertenece a la unidad geológica Qal.

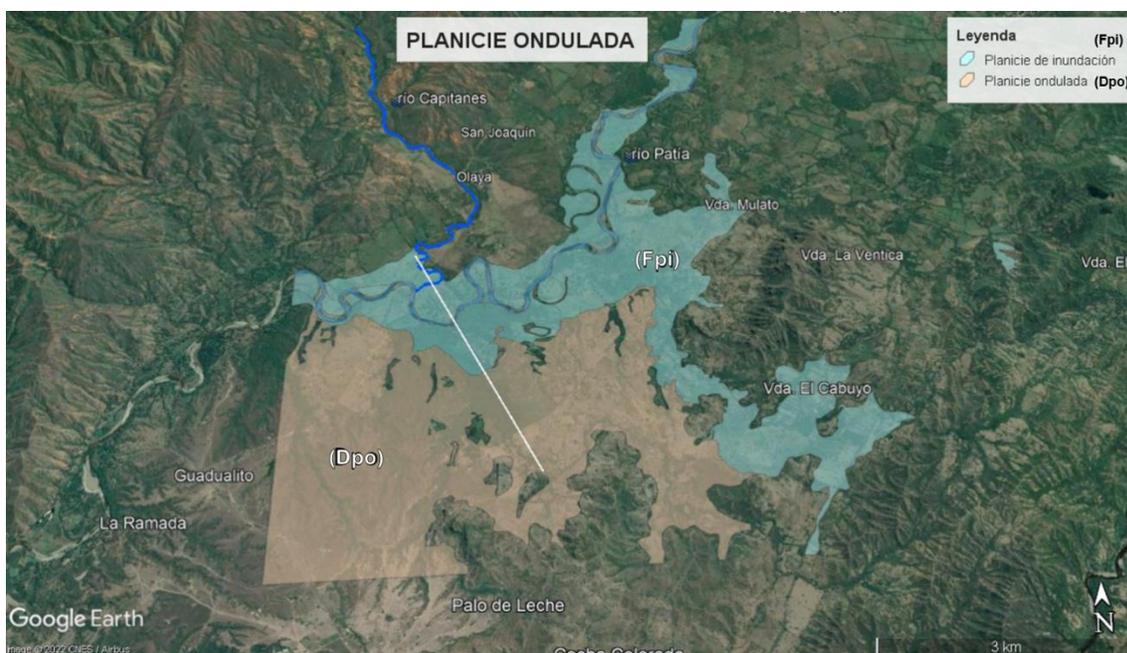


Figura 20. Subunidad Geomorfológica Planicie Ondulada. Imagen CNES/Airbus 2022, tomada de Google Earth Pro.

En el perfil topográfico (Figura 21), se observa la diferencia de alturas entre la Planicie de Inundación (Fpi) y la Planicie Ondulada (Dpo), siendo esta diferencia de aproximadamente 10 metros.



Figura 21. Perfil topográfico de la Subunidad Geomorfológica Planicie Ondulada, de sentido NW-SE. Realizado en Google Earth Pro.

Subunidad Geomorfológica Lomeríos (Slo). Zonas de terreno quebrado que se caracteriza por la repetición de lomas con cimas a alturas variables, limitadas por valles fluviales. Presenta pendientes entre los 10° y 45° y longitudes de ladera desde los 120 a

los 580 metros. En el área de estudio se encuentran asociadas a Subunidades de ambiente morfogenético estructural, y se formaron por procesos hídricos y de remoción en masa (Figura 22).

7.1.3. Subunidades Geomorfológicas de Ambiente Morfogenético Estructural

Subunidad Geomorfológica Ladera Estructural de Cuesta (Scl_e). La Subunidad Geomorfológica denominada Ladera Estructural de Cuesta (Figura 22), presenta estratos dispuestos a favor de la pendiente del terreno, su pendiente varía entre los 10° a 30°. Dentro de las Laderas Estructurales de Cuesta encontradas en el área de estudio, se encuentran algunas con extensiones hasta 400 metros de longitud, además, todas cuentan con morfología principalmente recta. Esta Subunidad está construida sobre flujos piroclásticos y epiclastitas de la unidad geológica vulcanitas de Galeón (Formación Galeón) de acuerdo a las planchas geológicas 363 Argelia (2005), 364 Timbío (1998), 386 Mercaderes (1999) y 387 Bolívar (1999) de INGEOMINAS.

Subunidad Geomorfológica Ladera de Contrapendiente de Cuesta (Scl_c). Subunidad Geomorfológica que se encuentra adyacente a la Subunidad Ladera Estructural de Cuesta, presenta laderas con estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, con pendientes escarpadas que en el caso del área de estudio están entre los 15 y 45 grados de inclinación, su longitud varía de los 90 a los 600 metros y su forma puede ser cóncava o convexa, presenta desarrollo de drenaje dendrítico subparalelo. Está conformado por intercalaciones de paquetes subhorizontales de rocas ígneas resistentes a medianamente resistentes a la meteorización y la erosión (N2g).

Subunidad Geomorfológica Sierra Sinclinal (Sss). Subunidad Geomorfológica que corresponde a una estructura sinclinal con flancos suavemente inclinados y colinas localizadas en el núcleo del sinclinal (Figura 22). Sus grados de pendiente varían entre 10 y 30 y la longitud de su ladera, que es de forma convexa, entre los 360 y 870 metros. Su disposición se asocia a procesos denudativos diferenciales que van modificando los flancos de la estructura principal.

Subunidad Geomorfológica Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal (Ssslc). Subunidad Geomorfológica relacionada al flanco de una Sierra Sinclinal. Sus laderas presentan estratos inclinados en contra de la pendiente del terreno, de longitudes entre 200 y 300 metros, de formas convexas a irregulares escalonadas con pendientes abruptas a escarpadas que van desde los 15 grados y pueden superar los 45 grados.

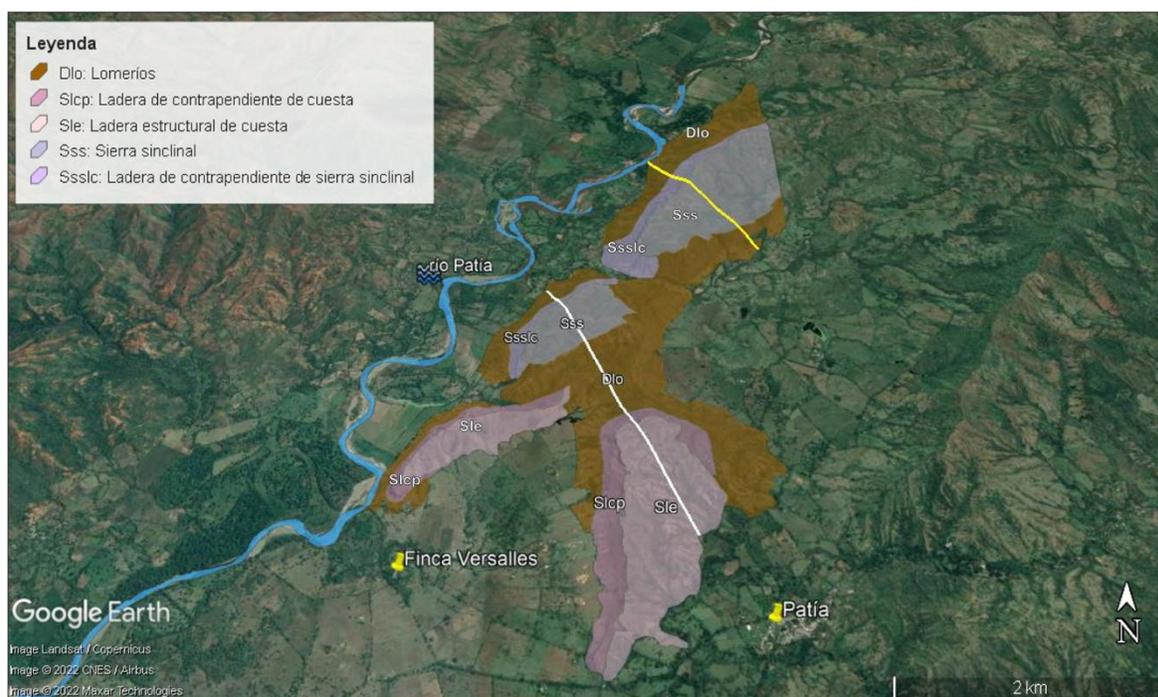


Figura 22. Subunidades Geomorfológicas (Denudacional) Lomeríos, (Estructural) Ladera Estructural de Cuesta, Ladera de Contrapendiente de Cuesta, Sierra Sinclinal y Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal. La línea

blanca y amarilla indican dónde se realizaron perfiles topográficos (Figura 23). Imagen Landsat/Copernicus, CNES/Airbus y Maxar Technologies 2022, tomada de Google Earth Pro.

El perfil topográfico (Figura 23) que de Noroccidente a Suroriente atraviesa las Subunidades geomorfológicas indicadas en la Figura 22, en el siguiente orden: Lomeríos Dlo, Ladera Contrapendiente de Sierra Sinclinal Ssslc, Sierra Sinclinal Sss, Lomeríos Dlo, Ladera Contrapendiente de Cuesta Slcp y Ladera Estructural de Cuesta Sle.

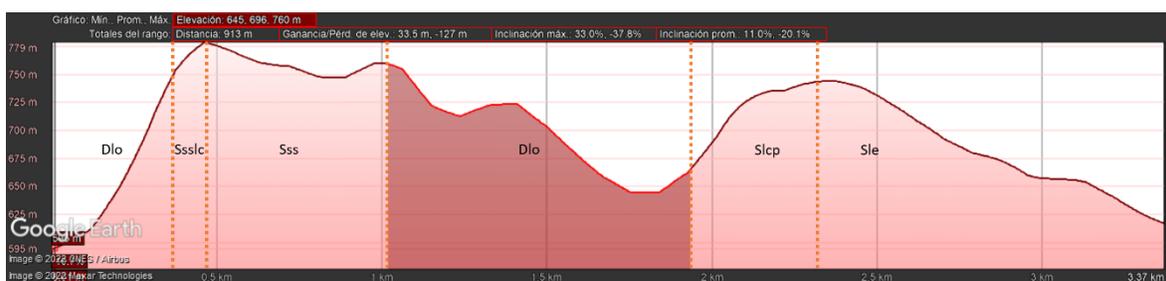


Figura 23. Perfil topográfico de dirección NW-SE, representado en la Figura anterior con la línea de color blanco. Realizado en Google Earth Pro.



Figura 24. Perfil topográfico de dirección NW-SE, representado en la Figura 22 con la línea de color amarillo. Realizado en Google Earth Pro.

7.1.4. Distribución de las Subunidades Geomorfológicas

En la Figura 25 se observan las Subunidades Geomorfológicas ordenadas de izquierda a derecha según el área que ocupan en la zona y separadas según su ambiente morfogenético.

Las Subunidades Geomorfológicas Terraza de Erosión, Planicie Ondulada y Sierra Sinclinal, de los ambientes fluvial, denudacional y estructural respectivamente, son las que mayor área ocupan dentro de su ambiente. Las Subunidades Meandro Abandonado, Loma Remanente muy Disectada y Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal son las que menos área ocupan dentro de su ambiente morfogenético.

El sistema morfogenético fluvial es el más representativo, con un área de 7193,81 hectáreas, seguido del ambiente denudacional que tiene 3229,56 hectáreas y el estructural con 675,72 hectáreas.

En la Tabla 1 se presentan el área en hectáreas y su respectivo porcentaje de cada tipo de Subunidad Geomorfológica identificada.

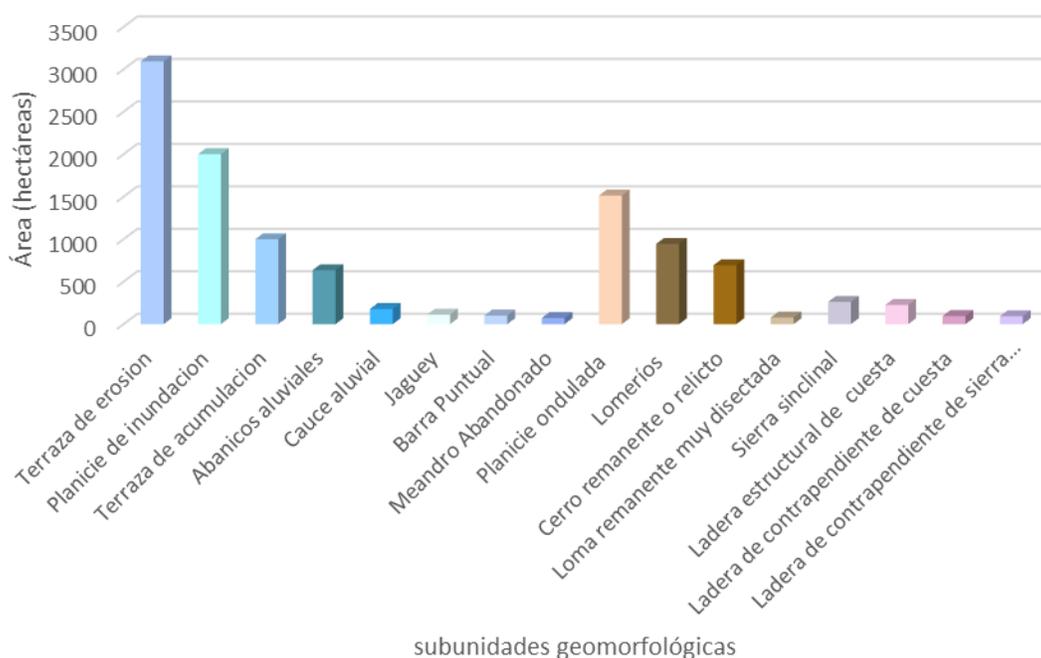


Figura 25. Distribución de las Subunidades geomorfológicas.

Tabla 1. Área en hectáreas de las Subunidades geomorfológicas

SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	CÓDIGO	ÁREA (ha)	PORCENTAJE
Terraza de Erosión	Fte	3094,21	27,88
Planicie de Inundación	Fpi	2001,46	18,03
Terraza de Acumulación	Fta	999,08	9,00
Abanicos Aluviales	Faa	635,50	5,72
Cauce Aluvial	Fca	178,43	1,61
Jaguey	Fjg	111,99	1,01
Barra Puntual	Fbp	101,38	0,91
Meandro Abandonado	Fma	71,77	0,65
Planicie Ondulada	Dpo	1513,66	13,64
Lomeríos	Dlo	945	8,51
Cerro Remanente o Relicto	Dcrem	693,33	6,25
Loma Remanente muy Disectada	Dlremd	77,57	0,7
Sierra Sinclinal	Sss	261,12	2,35
Ladera Estructural de Cuesta	Sle	226,47	2,04
Ladera de Contrapendiente de Cuesta	Sclc	95,72	0,86
Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal	Ssslc	92,41	0,83
TOTAL		11099,11	100

7.2. Taxonomía Geomorfológica del Área De Estudio

La Tabla 2 relaciona cada Subunidad Geomorfológica con su ambiente morfogenético, la mayoría corresponden al ambiente fluvial, el que constituye el ambiente morfogenético objeto de estudio.

Tabla 2. Provincia, unidades, Subunidades geomorfológicas y ambientes identificados en el área de estudio

PROVINCIA	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	AMBIENTE	SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA ESCALA 1:25.000	
Cuenca Cauca – Patía	Valle del Patía	Fluvial (F)	Abanico Aluvial	
			Barra Puntual	
			Cauce Aluvial	
			Jagüey	
			Meandro Abandonado	
			Planicie de Inundación	
			Terraza de Acumulación	
			Terraza de Erosión	
		Denudacional (D)	Cerro Remanente o Relicto	
			Loma Remanente muy Disectada	
			Planicie Ondulada	
			Lomeríos	
			Estructural (S)	Ladera Estructural de Cuesta
				Ladera de Contrapendiente de Cuesta
				Sierra Sinclinal
Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal				

7.3 Tipos de Cobertura

En el área de estudio se identificaron 18 tipos de cobertura que se describen a continuación de acuerdo a la extensión, de menor a mayor área. La Figura 26 muestra los tipos de cobertura en el área.

Lagunas, lagos y ciénagas naturales. Superficies de agua naturales que pueden estar conectadas o no con un río; en el área de estudio representa el 0.023% del área total.

Pastos enmalezados. Tierras con pastos y malezas. Representa un 0.026% del área total.

Vegetación acuática sobre cuerpos de agua. Corresponde al 0.08% de la cobertura total y se refiere a la vegetación flotante establecida sobre cuerpos de agua.

Bosque fragmentado. Áreas con bosque denso o abierto que ha sido intervenido por pastos, cultivos o vegetación en transición, representa el 0.22% del área de estudio.

Tejido urbano continuo. Espacios conformados por edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente, este tipo de cobertura representa el 0.32% del total.

Tejido urbano discontinuo. Conformado por edificaciones, vías e infraestructura construida de forma dispersa e inmersa en una matriz de zonas verdes. Representa el 0.40% del área total.

Zonas arenosas naturales. Áreas planas y bajas de suelos arenosos asociadas al río Patía, conformando playas y bancos de arena, representa el 0.96% de la cobertura.

Bosque ripario. Vegetación arbórea que se encuentra en los márgenes de algunos de los tributarios del río Patía, el porcentaje que representa es de 1.68%.

Mosaico de cultivos y espacios naturales. Zonas ocupadas por cultivos y espacios naturales en las cuales el tamaño de las parcelas y su patrón de distribución es muy intrincado como para ser representado individualmente en la cartografía. El 1.8% de la cobertura vegetal corresponde a este tipo de cobertura.

Zonas pantanosas. Tierras bajas que permanecen inundadas durante la mayor parte del año. Representa el 2% de la cobertura total.

Bosque denso. Zonas dominadas por árboles que forman un estrato de copas más o menos continuo, en el área de estudio este tipo de bosque ocupa el 3.34% de la cobertura total.

Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales. En esta unidad, el patrón de distribución de las coberturas no puede ser representado individualmente, en este caso representa el 6.15% de la cobertura.

Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva. Coberturas vegetales naturales y producto de la sucesión natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo.

Bosque abierto. Áreas constituidas por elementos arbóreos que forman un dosel discontinuo cuya área representa entre el 30% y el 70% del área de toda la unidad, en el caso del área de estudio, este tipo de bosque representa el 9.07% de la cobertura total.

Herbazal abierto. Representado por una comunidad vegetal donde los elementos herbáceos son dominantes y forman una cobertura abierta. Corresponde el 9.2% de la cobertura total.

Pastos limpios. Zonas ocupadas por más del 70% de pastos limpios, en el área de estudio este tipo de cobertura representa el 9.57%

Mosaico de cultivos. Áreas ocupadas por cultivos permanentes o transitorios, cuyo patrón no puede ser representado individualmente en la cartografía, representa el 10.7% del área de trabajo.

Pastos arbolados. Tierras cubiertas con pastos con presencia de árboles distribuidos dispersamente. Es el área que representa el mayor porcentaje de la cobertura total dentro del área de estudio preliminar, 34.78%.

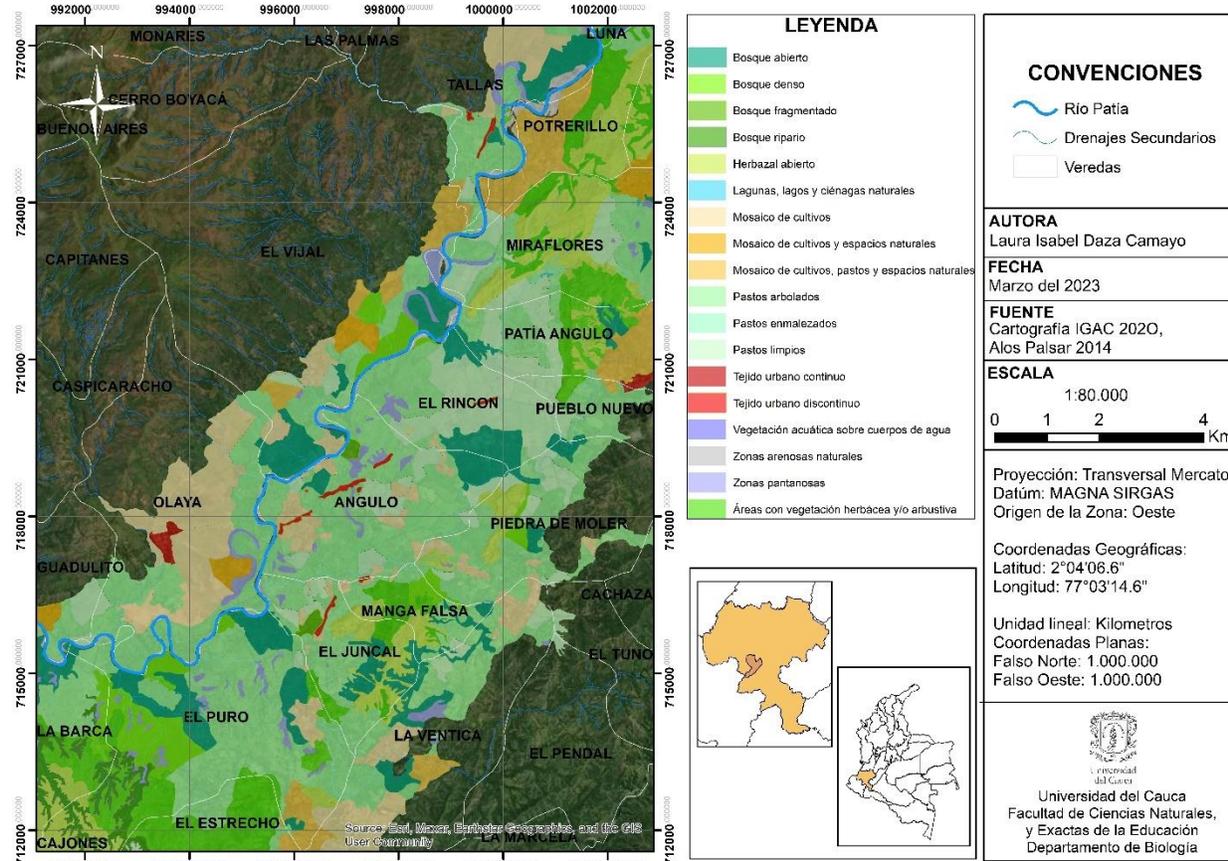


Figura 26. Coberturas identificadas en el área de estudio

7.3.1 Distribución de los tipos de cobertura

El mayor porcentaje de cobertura corresponde a los pastos arbolados con un área de ocupación de 3860 hectáreas que representan el 34,78% del total, en porcentaje de ocupación le sigue la cobertura de mosaico de cultivos con un 10,7% representado por 1187 hectáreas. Contrario a esto, La cobertura de bosque denso ocupa únicamente 3,34% del área total, con 371 hectáreas. En la Figura 21 se observan los tipos de cobertura de menor a mayor área de ocupación; Para facilitar la lectura de los datos de coberturas, se presenta la Tabla 3.

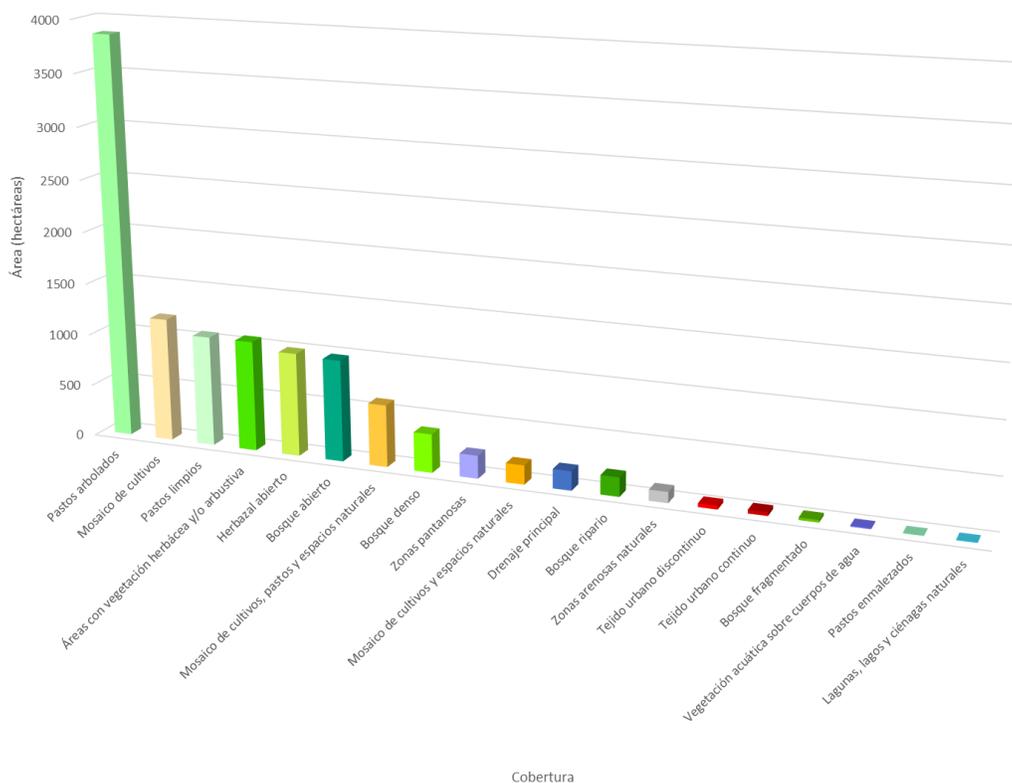


Figura 27. Diagrama de barras de la distribución de coberturas en el área de estudio.

Tabla 3. Coberturas identificadas en el área de estudio.

COBERTURA	CÓDIGO CLC	ÁREA (ha)	PORCENTAJE
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	5.1.2	3,5	0,03
Pastos enmalezados	2.3.3	3,88	0,03
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	4.1.3	9,68	0,09
Bosque fragmentado	3.1.3	25,01	0,23
Tejido urbano continuo	1.1.1	35,59	0,32
Tejido urbano discontinuo	1.1.2	36,41	0,33
Zonas arenosas naturales	3.3.1	105,81	0,95

COBERTURA	CÓDIGO CLC	ÁREA (ha)	PORCENTAJE
Bosque ripario	3.1.4	184,71	1,66
Ríos (drenaje principal, río Patía)	5.1.1	184,77	1,66
Mosaico de cultivos y espacios naturales	2.4.5	184,06	1,66
Zonas pantanosas	4.1.1	221,40	1,99
Bosque denso	3.1.1	371,23	3,34
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2.4.3	595,88	5,37
Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2	1060,52	9,56
Bosque abierto	3.1.2	975,39	8,79
Herbazal abierto	3.2.1.2	993,48	8,95
Pastos limpios	3.2.1	1059,77	9,55
Mosaico de cultivos	2.4.1	1187,95	10,70
Pastos arbolados	2.3.2	3860,05	34,78
TOTAL		11099,1	100



Figura 28. Relicto de bosque rodeado de pastizal. Fotografía tomada por María Patricia Torres, 2014



Figura 29. Se observan las coberturas pastizal y pasto arbolado, se evidencia la presencia de ganado vacuno. Al fondo la Subunidad Geomorfológica Cerro Manzanillo. Fotografía tomada por María Patricia Torres, 2014



Figura 30. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua. Fotografía tomada por María Patricia Torres, 2014.

7.4 Áreas Susceptibles de Inundación

De las dieciséis Subunidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio y de acuerdo a la pendiente y la cobertura vegetal, se identificaron las áreas susceptibles a inundación que se encuentran en el área de estudio (Figura 31).

Las áreas de inundación corresponden a todas las Subunidades Geomorfológicas del ambiente morfogenético fluvial que además presentan pendientes que varían entre los 0 y los 10° de inclinación. En la Tabla 4, se presentan las Subunidades geomorfológicas con su respectivo ambiente morfogenético, pendiente, tipos de

cobertura que en ella se encuentran y la categorización entre inundable o no inundable obtenida en este trabajo de investigación.

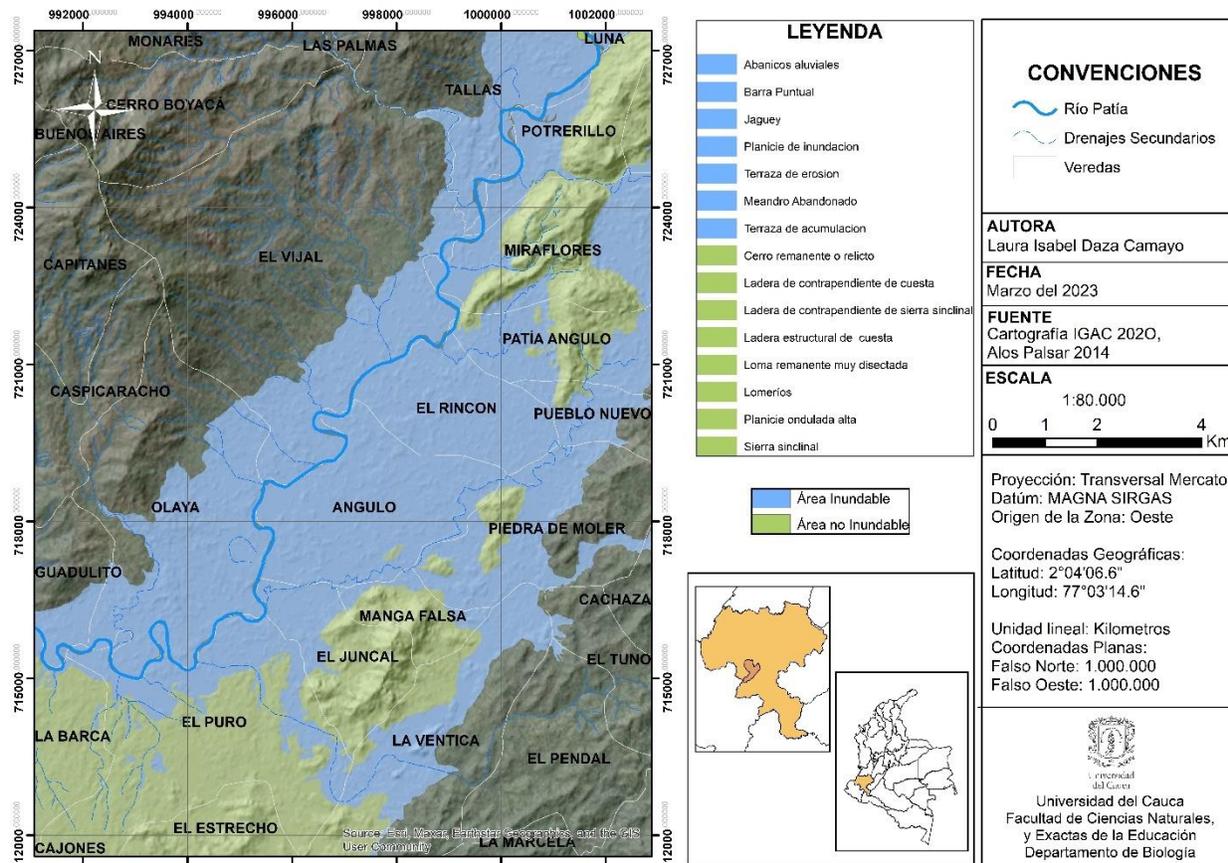


Figura 31. Subunidades Geomorfológicas susceptibles de inundación.

Tabla 4. Subunidades Geomorfológicas susceptibles de inundación en el área de estudio

SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA ESCALA 1:25.000	AMBIENTE MORFOGENÉTICO	PENDIENTE (°)	COBERTURA VEGETAL SEGÚN CLC	ZONA INUNDABLE
Abanico Aluvial	Fluvial	6° - 10°	Mosaico de cultivos, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, pastos arbolados, tejido urbano continuo.	✓
Barra Puntual		< 5°	zonas arenosas naturales	✓

SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA ESCALA 1:25.000	AMBIENTE MORFOGENÉTICO	PENDIENTE (°)	COBERTURA VEGETAL SEGÚN CLC	ZONA INUNDABLE
Cauce Aluvial		< 5°	drenaje principal	NA
Jagüey		< 5°	Zonas pantanosas	✓
Meandro Abandonado		< 5°	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua, zonas pantanosas	✓
Planicie de Inundación		< 5°	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, bosque abierto, bosque denso, mosaico de cultivos, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, pastos arbolados, pastos limpios, zonas pantanosas, tejido urbano discontinuo.	✓
Terraza de Acumulación		0° - 10°	Bosque abierto, bosque denso, herbazal abierto, mosaico de cultivos, mosaico de cultivos y espacios naturales, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, pastos arbolados, pastos limpios, zonas pantanosas.	✓
Terraza de Erosión		0° - 10°	Bosque abierto, bosque denso, bosque fragmentado, lagos y ciénagas naturales, lagunas, mosaico de cultivos, mosaico de cultivos y espacios naturales, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, pastos arbolados, pastos enmalezados, pastos limpios,	✓

SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA ESCALA 1:25.000	AMBIENTE MORFOGENÉTICO	PENDIENTE (°)	COBERTURA VEGETAL SEGÚN CLC	ZONA INUNDABLE
			tejido urbano continuo, tejido urbano discontinuo, zonas pantanosas.	
Cerro Remanente o Relicto	Denudacional	16° - 45°	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, bosque abierto, bosque denso, herbazal abierto, pastos arbolados, pastos limpios.	X
Loma Remanente muy Disectada		6°-15	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, herbazal abierto, Pastos arbolados, pastos limpios, zonas pantanosas.	X
Planicie Ondulada		0° - 10°	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, bosque abierto, bosque denso, bosque ripario,	X
Lomeríos		10 - <45	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, herbazal abierto, pastos arbolados.	X
Ladera de Contrapendiente de Cuesta	Estructural	15° - 45°	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, herbazal abierto.	X
Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal		15° - 45°	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, herbazal abierto.	X
Ladera Estructural de Cuesta		6°-20°	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, bosque abierto, herbazal abierto, pastos arbolados, pastos limpios.	X

SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA ESCALA 1:25.000	AMBIENTE MORFOGENÉTICO	PENDIENTE (°)	COBERTURA VEGETAL SEGÚN CLC	ZONA INUNDABLE
Sierra Sinclinal		11°-20°	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, herbazal abierto.	X

7.5 Factores Antrópicos Responsables de la Modificación de la Cobertura

El uso de la tierra está dado por diferentes procesos de transformación de la cobertura original en sistemas de producción (Tabla 5), destinados a suplir las necesidades de la población. En el área de estudio se identificaron cuatro tipos de uso que se describen a continuación:

Ganadería extensiva. Es un proceso de producción secundaria, se caracteriza por la explotación de ganado vacuno principalmente, para la obtención de carne y leche; y presenta una baja densidad de animales por unidad de superficie (PBOT Patía, 2003).

Extracción. Esta actividad se da en los remanentes de bosque seco, donde se aprovechan materiales naturales para obtener fibras vegetales, madera para leña y construcción, arena y agua para el ganado.

Agricultura de subsistencia. Constituida por monocultivos o policultivos de pancoger y de algunos que se consideran comerciales. Son áreas de producción familiar y de economía campesina (PBOT Patía, 2003)

Vivienda. Este uso se basa en la infraestructura y corresponde al tejido urbano.

La Tabla 5 relaciona los tipos de cobertura y su respectivo uso, la ganadería está asociada con tipos de cobertura como los pastizales y la vegetación herbácea, la

extracción de material vegetal se realiza en los pequeños relictos de bosque que subsisten en la zona, en las zonas arenosas naturales se produce la extracción de material para construcción.

Tabla 5. Uso del suelo asociado a cada tipo de cobertura.

COBERTURA	USO
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	No identificado
Pastos enmalezados	Ganadería extensiva
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	No identificado
Bosque fragmentado	Extracción, ganadería extensiva
Tejido urbano continuo	Vivienda
Tejido urbano discontinuo	Vivienda
Zonas arenosas naturales	Extracción
Bosque ripario	Extracción
Mosaico de cultivos y espacios naturales	Agricultura de subsistencia, ganadería extensiva
Zonas pantanosas	No identificado
Bosque denso	Extracción
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Agricultura de subsistencia, ganadería extensiva
Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	Ganadería extensiva
Bosque abierto	Extracción
Herbazal abierto	Ganadería extensiva
Pastos limpios	Ganadería extensiva

COBERTURA	USO
Mosaico de cultivos	Agricultura de subsistencia
Pastos arbolados	Ganadería extensiva

7.6 Cobertura Vegetal y Uso del Suelo Asociado a Subunidades Geomorfológicas

Las coberturas y su respectivo uso del suelo se distribuyen en Subunidades Geomorfológicas, esta relación se resume en la Tabla 6. Las áreas de vegetación herbácea donde comúnmente se presenta ganadería extensiva, son características de las Subunidades de origen denudacional y estructural. Las Terrazas de erosión y acumulación, así como la Planicie de inundación, al presentar grandes extensiones de terreno, permiten la existencia de múltiples tipos de cobertura cada una con su uso respectivo. Se encuentra que, en las Subunidades Geomorfológicas Abanico Aluvial, Planicie de Inundación, Terraza de Erosión, todas de origen morfogenético fluvial y catalogadas como áreas inundables, hay presencia de tejido urbano.

Tabla 6. Cobertura según Corine Land Cover y uso del suelo asociadas a las Subunidades Geomorfológicas.

SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ZONA INUNDABLE	COBERTURA VEGETAL	INFERENCIA USO DEL SUELO
Abanico Aluvial	✓	Mosaico de cultivos, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, pastos arbolados, tejido urbano continuo.	Agricultura de subsistencia, ganadería extensiva, vivienda
Barra Puntual	✓	zonas arenosas naturales	Extracción
Cauce Aluvial	NA	drenaje principal	-

SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ZONA INUNDABLE	COBERTURA VEGETAL	INFERENCIA USO DEL SUELO
Jagüey	✓	Zonas pantanosas	-
Meandro Abandonado	✓	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua, zonas pantanosas	-
Planicie de Inundación	✓	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, bosque abierto, bosque denso, mosaico de cultivos, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, pastos arbolados, pastos limpios, zonas pantanosas, tejido urbano discontinuo.	Agricultura de subsistencia, extracción, Ganadería extensiva, vivienda
Terraza de Acumulación	✓	Bosque abierto, bosque denso, herbazal abierto, mosaico de cultivos, mosaico de cultivos y espacios naturales, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, pastos arbolados, pastos limpios, zonas pantanosas.	Extracción, ganadería extensiva, agricultura de subsistencia,
Terraza de Erosión	✓	Bosque abierto, bosque denso, bosque fragmentado, lagos y ciénagas naturales, lagunas, mosaico de cultivos, mosaico de cultivos y espacios naturales, mosaico de cultivos, pastos y	Extracción, ganadería extensiva, agricultura de subsistencia, vivienda

SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ZONA INUNDABLE	COBERTURA VEGETAL	INFERENCIA USO DEL SUELO
		espacios naturales, pastos arbolados, pastos enmalezados, pastos limpios, tejido urbano continuo, tejido urbano discontinuo, zonas pantanosas.	
Cerro Remanente o Relicto	X	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, bosque abierto, bosque denso, herbazal abierto, pastos arbolados, pastos limpios.	Ganadería extensiva, extracción,
Loma Remanente muy Disectada	X	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, herbazal abierto, Pastos arbolados, pastos limpios, zonas pantanosas.	Ganadería extensiva.
Planicie Ondulada	X	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, bosque abierto, bosque denso, bosque ripario,	Ganadería extensiva, extracción.
Lomeríos	X	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, herbazal abierto, pastos arbolados.	Ganadería extensiva
Ladera de Contrapendiente de Cuesta	X	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, herbazal abierto.	-
Ladera de Contrapendiente de Sierra Sinclinal	X	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, herbazal abierto.	-

SUBUNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ZONA INUNDABLE	COBERTURA VEGETAL	INFERENCIA USO DEL SUELO
Ladera Estructural de Cuesta	X	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, bosque abierto, herbazal abierto, pastos arbolados, pastos limpios.	-
Sierra Sinclinal	X	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, herbazal abierto.	-

8 Discusión

Brindar información sobre áreas inundables del bosque seco tropical del valle del Patía, en cuanto a su geomorfología, cobertura vegetal y uso del suelo asociado es indispensable para lograr acercarse al entendimiento de las dinámicas que ocurren en este ecosistema que es el más intervenido del país.

8.1 Geomorfología

La Provincia Geomorfológica Cuenca Cauca-Patía, se formó por procesos volcánicos, fluviales y estructurales que moldearon el paisaje actual. Esta Provincia corresponde a una depresión intercordilleras (Occidental y Central) del sistema de los Andes, relacionada con el levantamiento de la cordillera Occidental y Central (Ruiz, 2002) donde se depositaron los sedimentos provenientes del vulcanismo y el levantamiento de las cordilleras, además de los sedimentos aportados por la actividad fluvial del río Patía y sus tributarios.

El área se encuentra dominada por geoformas de origen fluvial, las cuales representan el 65% del área de estudio. Su litología y unidad geológica corresponde a los depósitos aluviales del Cuaternario. En esta matriz de Subunidades Geomorfológicas de ambiente morfogenético fluvial, sobresalen geoformas de origen denudacional (29%) y estructural (6%) que, en este caso particular, tienen un origen litológico correspondiente a depósitos de flujos piroclásticos y depósitos volcano-sedimentarios correspondientes a las Vulcanitas de la Formación Galeón (Vergara y Torres, 2017), las cuales están constituidas por materiales con diferencias de susceptibilidad a la erosión, sobresaliendo en la planicie de inundación las más resistentes a la meteorización y a la erosión.

En este trabajo la geomorfología fluvial fue primordial para comprender la dinámica del río Patía en el tramo estudiado, por lo que podría ser una herramienta útil para el desarrollo del plan de ordenamiento territorial, tal como lo afirman Pantevis y Torres (2020), al plantear cómo la geomorfología fluvial aporta en la comprensión de la dinámica fluvial y viceversa al concluir en un estudio multitemporal en las zonas de inundación del río Amazonas, que los fenómenos erosivos y de depositación que ocurren en el relieve local, generan diferentes rasgos geomorfológicos.

Las variaciones en el terreno se observaron teniendo como apoyo los perfiles topográficos, realizados en Google Earth Pro, éstos permitieron diferenciar las Subunidades Geomorfológicas junto con la interpretación de las imágenes satelitales, así como lo propone Fitz (2008), los perfiles topográficos muestran de una manera fiable las características del relieve, lo que permite comprender mejor la superficie de trabajo.

El perfil topográfico que atraviesa de oriente a occidente el cerro Manzanillo, además de permitir observar la ladera y la pendiente de esta Subunidad Geomorfológica, muestra que alrededor de este cerro se encuentra una planicie. Sin embargo, en su flanco occidental tiene una altura sobre la base menor que la planicie en su flanco oriental, lo cual deja claro que, en esta zona de baja inclinación, hay Subunidades Geomorfológicas diferentes, en este caso se trata de la Planicie de Inundación en el occidente y la Terraza de Erosión, con veinte metros más de altura al oriente.

Las planicies de inundación y terrazas de acumulación son Subunidades Geomorfológicas que se encuentran ubicadas en zonas cercanas al río Patía y debido a que sus sedimentos son renovados de manera constante, cuando en época de lluvias el

río ocupa estas áreas (Vergara y Torres, 2017), estas planicies constituyen espacios óptimos para los cultivos transitorios debido a su alta fertilidad.

El abanico de Capitanes es una Subunidad geomorfológica de origen fluvial, su formación se debió a la erosión vertical producida por el río Capitanes sobre la cordillera Occidental, y la posterior depositación de sedimentos, al llegar sus aguas a un área de menor pendiente, el valle del Patía, formando esta Subunidad con geoforma de abanico, tal como lo expresó Villar (1996), ésta expresión topográfica con geoforma de cono radia pendiente abajo desde el punto donde la corriente deja o abandona el área-fuente, en este caso la cordillera Occidental. En el perfil topográfico de este abanico aluvial de la Figura 9, se observa que existe una pendiente levemente inclinada típica de los abanicos aluviales, además al modificar la escala vertical del perfil es posible observar más fácilmente los cambios o las variaciones de la ladera de este abanico.

Las Subunidades Geomorfológicas de origen estructural que se identificaron en el área de estudio, corresponden a sierras y cuevas cuya litología corresponde a las Vulcanitas de Galeón, unidad definida por Keiser y Van Der Hammen, 1955, originadas por el levantamiento de la cordillera Occidental y Central y el vulcanismo asociado a la cordillera Central, por lo que presenta intercalaciones de flujos y lodos, flujos piroclásticos y epiclásticos y algunos flujos de lava (Camacho et al., 2003); adyacente a estas geoformas, se encuentra una Subunidad de origen denudacional, que se denominó Lomeríos, cuyo origen se asocia a procesos de erosión y depositación en las cuevas y sierras de origen estructural.

También, sobre el material volcánico de la formación Galeón y los depósitos de los abanicos aluviales, se ha depositado material aluvial reciente proveniente del río Patía, (Vergara y Torres, 2017) formando el valle donde se encuentran las planicies y terrazas.

Las formas más antiguas son las de origen estructural, y las más recientes son las de origen fluvial que están siendo constantemente modificadas por la dinámica del río Patía, con procesos de erosión y sedimentación; lo cual puede confirmarse entendiendo que la litología de las Subunidades Geomorfológicas que sobresalen en el relieve del valle del Patía, corresponden a Vulcanitas de Galeón, las cuales según INGEOMINAS (Ruiz, 2002) tuvieron origen en el Plio-Pleistoceno, y los materiales aluviales que ha sido transportados y depositados han contribuido con el modelamiento y generado formas fluviales agradacionales del Cuaternario.

Emplear diferentes herramientas digitales en este caso Google Earth y ArcGIS, es de gran utilidad para ajustar las observaciones que permiten definir la geomorfología, complementar los análisis y para contrastar resultados como los perfiles topográficos, y observar con mayor detalle las particularidades del terreno. Ya que las imágenes de la zona que se encuentran en Google Earth Pro cuentan con una resolución espacial mayor que las del *Basemap* de ArcGIS; por lo cual es una ventaja que los archivos generados en cada software sean compatibles entre sí. Además, la interfaz de Google Earth Pro es más sencilla e intuitiva y dependiendo de las características del ordenador donde se ejecute, puede funcionar a una mejor velocidad que ArcGIS, sin embargo, ArcGIS permite realizar un procesamiento más especializado de las imágenes.

8.2 Cobertura Vegetal y Uso del Suelo Como Factores Antrópicos Responsables de la Modificación de la Cobertura

Está documentado que a nivel nacional el bosque seco tropical cuenta únicamente con un 8% de su extensión original (Pizano *et al.*, 2020). El bosque seco tropical del Valle del Patía representa solamente el 1.5% de este ecosistema en Colombia (González, 2018).

Los resultados de este estudio evidencian que los pastos arbolados son la cobertura predominante, ocupando un 35% de la cobertura total, seguido por los pastos limpios y el mosaico de cultivos con un 9.47% y 10.4% respectivamente. A diferencia de los relictos de bosque denso, bosque fragmentado, bosque abierto, bosque ripario, herbazales y zonas con vegetación herbácea o arbustiva, que en total ocupan tan solo el 31%. De igual manera Ariza (1999), indica que la vegetación natural se encuentra altamente perturbada y ha sido reemplazada por arbustales, matorrales, sabanas artificiales y campos de cultivo. Así mismo, Miles 2006 menciona que mundialmente el bosque seco tropical se encuentra sujeto a múltiples presiones de manera simultánea.

Datos como los de Arcila y colaboradores (2012), permiten evidenciar que también en otras áreas del país, el BST se encuentra altamente fragmentado, al encontrar que en área del valle aluvial del río Cauca, comprendido entre el norte del Cauca, hasta la mitad de Risaralda, tan solo el 1,76% corresponde a área boscosa.

Las Subunidades Abanico Aluvial, Planicie de Inundación y Terraza de Erosión presenta las características geomorfológicas adecuadas para ser ocupado por las comunidades humanas, lo cual ha sucedido históricamente debido a que las áreas de

ambientes morfogenéticos fluviales presentan geoformas planas o de baja pendiente y a la fertilidad de los suelos, derivada de las repetidas inundaciones que aportan sedimentos nuevos a los suelos, por lo cual se encuentran sobre estas Subunidades tejido urbano continuo o discontinuo.

De acuerdo a lo anterior, es claro que el valle del Patía ha sufrido a lo largo de la historia intervenciones enfocadas al desarrollo de comunidades humanas debido a sus suelos relativamente fértiles, lo cual ha hecho que sea un terreno favorable para la implementación de cultivos y ganadería extensiva. Según Álvarez-Dávila y colaboradores (2019) citados en el Programa nacional para la conservación y restauración del bosque seco tropical en Colombia 2021, el 92% del territorio donde naturalmente se encontraba el BST hoy corresponde a una matriz poblada y productiva donde se encuentran embebidos pequeños relictos de bosque, corroborado en este estudio a través del análisis de cobertura y uso presentado en la Tabla 5.

La ganadería extensiva en el área de estudio constituye uno de los usos más recurrentes en la mayoría de las Subunidades Geomorfológicas; (12 de 18). La extracción de material vegetal en los relictos de bosque y la extracción de arena de las áreas arenosas naturales también ha contribuido a la modificación del paisaje del valle del Patía. Vergara y Torres, 2017, expusieron información similar al indicar que, en el Valle del Patía, en sectores cercanos a la cabecera municipal, el 90% de las áreas están dedicadas a la ganadería extensiva destinada a la producción lechera y cárnica.

Igualmente, González (2018), identificó la ganadería, la infraestructura humana, la agricultura y los incendios como los motores de cambio más frecuentes en el bosque seco tropical.

En términos generales se evidenció que existen relictos de bosque rodeados de una gran matriz de intervención representada por cultivos, pastos e infraestructura humana.

Las Subunidades Geomorfológicas de origen estructural en el área de estudio presentan pendientes muy abruptas a escarpadas en las cuales, según el mapa de coberturas realizado, están generalmente cubiertas por herbazales y no presenta un uso asociado por lo cual esta zona no es apta para cultivos ni para ganado debido a su pendiente.

Las áreas donde posiblemente se da un uso del suelo recurrente y por ende una modificación de la cobertura, corresponden a Subunidades de origen fluvial y denudacional.

Los usos de la tierra inferidos para cada tipo de cobertura en el área de estudio, coinciden con las presiones antrópicas encontradas en la literatura, sin embargo, como lo expresa Peres (2006), queda mucho por hacer en cuanto a la cuantificación de la intensidad y la extensión de los cambios debajo del dosel del bosque y los métodos como el análisis de imágenes satelitales no permite identificar cambios sutiles dentro del bosque debidos a la caza, al aprovechamiento forestal no maderable, a la tala selectiva, a la invasión de especies exóticas y adelgazamiento del sotobosque por el pastoreo.

Teniendo en cuenta la limitación que supone trabajar con herramientas de la teledetección y sin control de campo al no permitir analizar lo que se encuentra por debajo del dosel, en este trabajo puede existir una sobreestimación de las hectáreas de cobertura catalogadas como bosque denso, ya que pueden presentarse áreas de pastizal con una densidad baja de árboles que presenten una copa con un gran diámetro, y por la visualización en planta de la zona esto sea interpretado como bosque denso.

8.3 Áreas Susceptibles de Inundación

Las áreas susceptibles de inundación que ocurren por los pulsos de inundación del río Patía, obedecen a la marcada estacionalidad de precipitación en la zona, como lo logra establecer Miguel (2019), al encontrar una relación directamente proporcional entre la precipitación y la columna de agua en el río Tiputini; por la realización del mapa de pendientes, las relaciones del uso del suelo asociado a cada tipo de cobertura, el reconocimiento de los ambientes morfogenéticos existentes y el mapa geomorfológico, fue posible establecer dónde se encuentran las áreas inundables.

Inicialmente el mapa de pendientes realizado a partir del modelo digital de elevación, permitió una mayor claridad para la elaboración de la cartografía, brindando información clave sobre las inclinaciones del terreno, permitiendo delinear los polígonos de manera precisa y establecer la dirección que tiene el drenaje secundario, desde la cordillera Occidental y las Subunidades con mayor altura sobre el nivel base y mayor pendiente hacia el valle del Patía.

La realización y análisis del mapa geomorfológico posibilitó la identificación y clasificación de las Provincias Geomorfológicas, ambientes morfogenéticos y

Subunidades Geomorfológicas, lo cual brinda información sobre la historia del terreno, haciendo posible entender qué áreas se formaron inicialmente por procesos asociados al río como lo son las Subunidades Geomorfológicas de origen morfogenético aluvial; igualmente permitió establecer qué Subunidades Geomorfológicas continúan siendo modificadas por la dinámica del río Patía y sus pulsos de inundación.

Los criterios definitivos para establecer que un área se inunda fueron la pendiente de 0° hasta 10° de inclinación y que la Subunidad Geomorfológica fuera de origen fluvial, por lo tanto, las zonas identificadas como áreas inundables corresponden a las Subunidades Geomorfológicas: Abanico Aluvial, Barra puntual, Meandro abandonado, Planicie de inundación, Terraza de acumulación y Terraza de erosión. Además, se corrobora que en las mencionadas Subunidades se observan coberturas como: bosque abierto, bosque denso, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, pastos arbolados, pastos limpios, tejido urbano discontinuo, herbazal abierto, mosaico de cultivos y espacios naturales, bosque fragmentado, pastos enmalezados, tejido urbano continuo y bosque ripario.

Existen características particulares en algunas Subunidades Geomorfológicas que podrían modificar la clasificación. Por ejemplo, La Subunidad geomorfológica Planicie ondulada que presenta pendientes hasta 10°, pero es de origen morfogenético Denudacional, podría inferirse inundable, ya que inmersos en ella se encuentran varios representantes de la Subunidad geomorfológica jagüey, que son humedales intermitentes, además esta planicie se encuentra en las cercanías de un tramo del río Patía, no obstante en el perfil topográfico realizado en esta zona (Figura 21) se evidencia que existe una diferencia de aproximadamente 10 metros entre la Planicie de inundación

y la planicie ondulada, por lo que para que ésta última se inunde debería ocurrir un caudal atípicamente alto. Según lo anterior se descarta la Planicie ondulada como área susceptible de inundación. Y se infiere que los jagüeyes asociados, actualmente se nutren de las aguas lluvias, en épocas de alta pluviosidad.

Es importante resaltar que, en las Subunidades Geomorfológicas Abanico aluvial, Planicie de inundación y Terraza de erosión, que fueron catalogadas como áreas inundables, se encuentran asentamientos de comunidades humanas, ya sea como tejido urbano continuo o discontinuo. Esto ocurre a pesar de la amenaza por inundación, y gracias a las inundaciones periódicas que sufren estas áreas, lo cual les confiere a los suelos una especial fertilidad que las comunidades aprovechan para establecer cultivos. Así mismo, históricamente fue en los valles de los ríos donde surgieron los primeros indicios de una cultura organizada, como históricamente se registra en las civilizaciones que se desarrollaron en márgenes de los ríos Eufrates, Tigris y Nilo (Gomis, 1992).

Según lo anterior, se entiende que la existencia de tejido urbano sobre una Subunidad geomorfológica no indica por sí sola que se trate de un área donde no ocurren inundaciones, ya que se realizó una breve revisión bibliográfica de periódicos locales y de fuentes audiovisuales donde se evidencia que los pulsos de inundación del río Patía suelen afectar centros poblados. Razón por lo cual el Abanico de Capitanes se clasifica como área susceptible de inundación independientemente de que en su cobertura exista tejido urbano continuo, correspondiente al lugar poblado de nombre Olaya.

9 Conclusiones

La actividad agrícola y ganadera se presenta recurrentemente sobre las subunidades geomorfológicas de origen morfogenético fluvial debido a su pendiente entre 0 y 10 grados y la fertilidad de sus suelos dada por la constante renovación de sedimentos causada por las inundaciones periódicas que obedecen a la marcada estacionalidad típica del Bosque Seco Tropical. Por esta razón las coberturas de pastos arbolados y mosaico de cultivos representan los mayores porcentajes del área.

Las subunidades geomorfológicas de origen morfogenético fluvial debido a características como la pendiente hasta 10 grados e inundaciones periódicas que rejuvenecen el suelo con sedimentos, presentan todos los usos de la tierra inferidos en esta investigación: ganadería, agricultura, vivienda y extracción.

A pesar de las constantes pérdidas materiales y humanas, el tejido urbano se encuentra asentado sobre subunidades geomorfológicas susceptibles de inundación gracias a las condiciones favorables de estas áreas en términos de pendiente, fertilidad y aptitud para el establecimiento de actividades económicas como ganadería y agricultura.

Los pastos arbolados son dominantes en la zona, debido a que es un área dedicada a la ganadería, el cual es un uso ampliamente conocido en el valle del Patía, que constituye una de las más grandes amenazas para el bosque seco tropical.

Las imágenes satelitales usadas para evaluar cobertura y uso de la tierra presentan limitaciones en cuanto al nivel de detalle al que se puede llegar; no permite

identificar usos que existen por debajo del dosel del bosque tales como tala selectiva y pastoreo en el sotobosque.

Emplear imágenes de las herramientas de la teledetección para obtener información específica y realizar trabajos de investigación en ciencias de la tierra, en ecología y en biología, constituye una herramienta valiosa en caso de que no sea posible realizar visitas de campo, ya sea por orden público, crisis sanitarias, impedimentos económicos, entre otros. Además, permite planear los trabajos de campo, para lograr mayor efectividad en el terreno y disminuir los costos del trabajo a realizar en el terreno.

10 Recomendaciones

Realizar estudios multitemporales que evalúen la evolución de las Subunidades Geomorfológicas, la cobertura y uso del suelo.

Realizar estudios en la zona con trabajo de campo enfocado en crear espacios de conversación con la comunidad para obtener una comprensión de la historia del uso del suelo.

Realizar trabajos de investigación en la zona que incluya fase de campo para identificar con más detalle los tipos de cobertura y los factores responsables de la modificación del paisaje.

11 Bibliografía

- Álvarez-Dávila, E., Ajiaco, R., Buitrago, L., González, M., Laverde, O., Ortiz, R. y Uribe, S. (2019). Estado de la biodiversidad en Colombia. En Gómez-S. R., Chaves, M.E., Ramírez, W., Santamaría, M., Andrade, G., Solano, C. y S. Aranguren. (Eds.) *Evaluación Nacional de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos*.
- Arcila, A., Valderrama, C. y Chacón de Ulloa, P. (2012). Estado de fragmentación del bosque seco de la cuenca alta del río Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 13(2), 86-100.
<http://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/264>
- Ariza, C. (1999). *Estudio de la diversidad florística del enclave árido del río Patía (Colombia)* [Trabajo de Grado, Biología]. Universidad Nacional de Colombia.
- ArcGis Resources (2020). ArcGis. Estados Unidos de América. Esri.
<https://resources.arcgis.com/es/help/gettingstarted/articles/026n00000014000000.htm>
- Barbier, E., Acreman, M. y Knowler, D. (1997). *Valoración económica de los humedales – Guía para decisores y planificadores*. Oficina de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza.
- Bernal, H., Sierra, C., Onaindia, M. y González, T. (2011). *Bosques del mundo. Cambio climático y amazonía*. Cátedra Unesco.

- Camacho, J., Buenaventura, J. y Celada, C. (2003). *Exploración Geoquímica Regional de Recursos Minerales Metálicos en las Zonas de Ataco, Sur de Cauca Romeral y Pacífico Sur*. Ministerio de Minas y Energía.
- Carvajal, J. (2012). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*. Servicio Geológico Colombiano.
- Castro, C. (s.f.). *Geomorfología Dinámica y Climática*. Universidad Católica de Chile.
- Cauca, U. del. (2003). Parte I. Geomorfología Fluvial. *Geomorfología Fluvial*, 60.
<https://studylib.es/doc/4603038/geomorfolog%C3%ADa-fluvial---universidad-del-cauca>
- Corponor. (19 de noviembre de 2015). *Bosque Seco Tropical*.
<https://corponor.gov.co/web/index.php/2015/11/19/bosque-seco-tropical/>
- CRC. (2006). *Caracterización Biofísica Patía*.
<http://artemisa.unicauca.edu.co/~gerardorengifo/Documentos/CN&AMB/CARACTERIZACION%20BIOFISCA%20PATIA.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP), Corponariño, CRC, GTZ. (1993). *Plan de desarrollo integral de la región Alto Patía*.
- Díaz, J. (2006). *Bosque Seco Tropical – Colombia*. Colección Ecológica del Banco de Occidente.
- Díez Herrero, Andrés (2004) *Geomorfología e hidrología fluvial del río Alberche: modelos y S. I. G. para la gestión de riberas*. [Tesis]
<https://eprints.ucm.es/id/eprint/4329/1/T25361.pdf>

- Durán, E., Galicia, L., Pérez, E. y Zambrano, L. (julio-septiembre 2002). El paisaje en ecología. *Revista Ciencia* (67), 44-50. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fernandez, B. (2019). *Factores edáficos y ocurrencia de especies vegetales en el bosque seco tropical, Mercaderes-Cauca, Colombia*. Universidad del Cauca.
- Fitz, P. (2008). *Geoprocessamento sem complicação*. Oficina de Textos.
- Furrier, M., Vargas-Cuervo, G. y Moncada, C. (2017). Caracterización y mapeo geomorfológico de Cartagena de Indias y adyacencias. *Boletín de Ciencias de la Tierra* (41), 5-15.
- García, H., Corzo, G., Isaacs, P. y Etter, A. (2014). Distribución y estado actual de los remanentes del bioma de Bosque Seco Tropical en Colombia: insumos para su gestión. En Pizano, C. y García, H. (eds.) *El Bosque Seco Tropical en Colombia* (pp. 229-249). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Gil, Verónica. (2011). *Geomorfología fluvial de la cuenca del arroyo El Negro, Buenos Aires, Argentina*. *Revista Universitaria de Geografía*, 20(1), 00. Recuperado en 26 de febrero de 2023, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652011000100007&lng=es&tlng=es.
- Gomis, A. (1992). *Historia de la Ciencia y de la técnica. Las civilizaciones fluviales, Egipto y Mesopotamia* (Vol. 2). Ediciones Akal.

https://books.google.com/books/about/Las_civilizaciones_fluviales_Egipto_y_Mes.html?hl=es&id=YGeg8PVvPSEC

González, R., García, H., Isaacs, P., Cuadros, H., López-Camacho, R., Rodríguez, N., Pérez, K., Mijares, F., Castaño-Naranjo, A., Jurado, R., Idárraga-Piedrahíta, A., Rojas, A., Vergara, H. y Pizano, C. (2018). Disentangling the Environmental Heterogeneity, Floristic Distinctiveness y Current Threats of Tropical Dry Forests in Colombia. *Environmental Research Letter* (13).

Gutiérrez, M. (1993). *Compendio de teledetección geológica*. Servicio de Publicaciones, Universidad de Oviedo.

Ruiz, S. (2002) *Memoria explicativa plancha 386 Mercaderes*. Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero Ambiental y Nuclear INGEOMINAS.

IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi, y IIAP. (2007). *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*.

IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Keller, E., & Rockwell, T. (1984). Tectonic Geomorphology, Quaternary chronology, and Paleoseismicity. En Costa, J., Fleisher, P. (eds) *Developments and Applications of Geomorphology*. Springer, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-642-69759-3_7

- Linares-palomino, R., & Oliveira-filho, A. (2011). Neotropical Seasonally Dry Forests : Diversity , Endemism , and Biogeography of Woody Plants. En Dirzo, R., Young, H., Mooney, H. y Ceballos, G. (eds) *Seasonally Dry Tropical Forests* (pp. 3-21). Island Press. <https://doi.org/10.5822/978-1-61091-021-7>
- Miguel, S. (2019). *Estudio y percepción de los pulsos de inundación del río Tiputini Parque Nacional Yasuní, Ecuador* [Trabajo de grado, geografía]. Universitat de Barcelona.
http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/149848/1/TFG%20Miguel%20Romero_Sofia.pdf
- Miles, L., Newton, A., DeFries, R., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Kapos, V. y Gordon, J. (2006). A Global Overview of the conservation Status of Tropical Dry Forests. *Journal of Biogeography* (33), 491-505. doi:10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2021). *Programa nacional para la conservación y restauración del bosque seco tropical en Colombia. Plan de Acción 2020-2030.*
- Pantevis, M. y Torres, V. (2020). *Geomorfología y Dinámica Fluvial del Rio Amazonas a la altura de Leticia, aplicado a zonas de inundación* [Trabajo de grado, Especialización en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas]. Universidad Santo Tomás.
- Peres, C., Barlow, J. y Laurance, W. (2006). Detecting anthropogenic disturbance in tropical forests. *TRENDS in Ecology and Evolution* (21), 227-229.

- Pizano, C., González, R., Garcia, H., Isaacs, P., González, M., Piñeros, P., & Ramírez, W. (2020). *Bosques secos tropicales en Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Ramírez, B., Macías, D. y Varona, G. (2015). Lista comentada de plantas vasculares del valle seco del río Patía, suroccidente de Colombia. *Biota Colombiana* (16) 1-50. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Redes chaco. (2015). *Bosques Inundables*.
- Rengifo, L. (2019). *Geomorfología y vegetación como elementos fundamentales del paisaje del bosque seco tropical de Mercaderes, Cauca, Colombia* [Trabajo de grado, biología]. Universidad del Cauca.
- Roldán, G. y Ramirez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Editorial Universidad de Antioquia.
- Robertson, Kim, & Castiblanco, Miguel A.. (2011). Amenazas fluviales en el piedemonte amazónico colombiano. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 20(2), 125-137. Retrieved February 27, 2023, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-215X2011000200010&lng=en&tlng=es.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2013). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)* (6a. ed.). Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).

- Servicio Geológico Colombiano. (2014). *Memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000 plancha 111 – Toledo, departamento de Norte de Santander. Bucaramanga. Colombia.*
- Segado, F. (1996). *Principios de teledetección*. Universidad de Murcia.
- Torres, M., Ibáñez, P. y Vásquez, E. (1992). Generalidades sobre la geología del norte del Valle del Patía. *Revista Novedades Colombianas* (5), 1-25.
<https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/novedades/article/view/2094>
- Valbuena Gaviria, D. (2017). *Geomorfología y condiciones hidráulicas del sistema fluvial del río Sinú. Integración multiescalar. 1945 – 1999 – 2016*
- Vergara, H. (2015). *Vegetation patterns and land use types in the Patia valley*. (18), 25–45. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2015.1.a02>
- Vergara, H. y Torres, P. (2017). *Aspectos generales del valle del Patía*. *Revista Novedades Colombianas*.
<https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/novedades/article/view/1157>
- Villar, A. (1996). Abanicos aluviales: Aportación teórica a sus aspectos más significativos. *Cuatern. Geomorfol* (10), 77-124.
- Van Zuidam, R.A., 1985, *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*: Hague, Netherlands, Smits, 442 p.