

**ANÁLISIS DE LA DINÁMICA HÍDRICA, EN LA CUENCA DEL RIO CRAVO SUR  
ENTRE LABRANZAGRANDE Y YOPAL, MEDIANTE TÉCNICAS DE  
TELEDETECCIÓN**

JENNY ANDREA CEBALLOS FANDIÑO



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MANIZALES  
2018**

**ANÁLISIS DE LA DINÁMICA HÍDRICA, EN LA CUENCA DEL RIO CRAVO SUR  
ENTRE LABRANZAGRANDE Y YOPAL, MEDIANTE TÉCNICAS DE  
TELEDETECCIÓN**

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar  
al título de Especialista en Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MANIZALES  
2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

La autora expresan sus agradecimientos a:

A Hector Fonseca Peralta, Director del grupo de investigación de ingeniería geológica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en el convenio con la Gobernación de Boyacá, por su constante colaboración con los insumos y la información para este trabajo.

A todos los profesionales del Proyecto de investigación, Convenio “Investigación aplicada a la modelación del territorio a partir del análisis geomorfológico del departamento de Boyacá”, por su aporte en la elaboración de los mapas temáticos y en general el desarrollo de este informe.

A Hector Mora Paez, Profesor de la Universidad de Manizales, por sus aportes y conocimientos, respecto a los diferentes puntos temáticos desarrollados para la culminación de mi carrera y de éste trabajo.

A la Universidad de Manizales, particularmente, al profesor Luis Carlos Correa y en general a todos los profesores y compañeros de la universidad, quienes domaron mi carácter personal y me guiaron como profesional, no sólo en la culminación de mis estudios, sino en los aportes a este trabajo de grado.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GENERAL	16
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	16
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. MARCO TEÓRICO	19
4.1 DINÁMICA HÍDRICA DE LA CUENCA	19
4.2 HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN	20
4.3 ANTECEDENTES	22
5. METODOLOGÍA	28
5.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	28
5.2 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES	30
5.3 INFORMACIÓN TEMÁTICA	30
6. RESULTADOS	37
6.1 ESTRUCTURA DEL SIG	37
6.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS	39
6.3 EVALUACIÓN DE COBERTURA	44
6.4 ASPECTOS MORFOMÉTRICOS	45

6.5 ASPECTOS EROSIVOS Y DE ESTABILIDAD	46
7. CONCLUSIONES	49
8. RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS	52

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Localización de la Cuenca del Rio Cravo Sur. Fuente: Proyecto de Investigación, UPTC .....	14
Figura 2. Interfaz Arcgis 10.2.2, herramienta Composite Bands .....	28
Figura 3. Mosaico de imágenes LANDSAT 2010 – 2012 .....	29
Figura 4. Mosaico de imágenes RAPIDEYE 2012 .....	29
Figura 5. Mosaico de imágenes RAPIDEYE 2010 .....	29
Figura 6. Mosaico de imágenes SPOT 2003 – 2008.....	30
Figura 7. Mapa de Rugosidad .....	35
Figura 8. Mapa de Acuenca .....	35
Figura 9. Flujo torrencial, año 1938, Labranzagrande .....	41
Figura 10. Flujo torrencial, año 1954, Labranzagrande. ....	41
Figura 11. Análisis de Fotografía aérea del IGAC N° 198 del vuelo B-105, año1937 Fuente. Arcgis 10.2. ....	41
Figura 12. <i>Fotografía aérea del IGAC N° 043 del vuelo C-2489, año 1992 Fuente. Arcgis 10.2.2.....</i>	41
Figura 13. Mapa geomorfológico .....	43
Figura 14. Mapa de cobertura, Año 1980.....	44
Figura 15. Mapa de cobertura, Año 2017 .....	44
Figura 16. Mapa morfometría .....	45
Figura 17. Mapa de Pendientes .....	45
Figura 18. Analisis de Erosión gravitacional (Mapa Vs Google Earth) .....	46
Figura 19. Analisis de Erosion Fluvial .....	47
Figura 20. Mapa de Erosión, Año 2017 .....	48

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Insumos temáticos revisados .....	31
Tabla 2. Categorías de pendientes para la interpretación geomorfológica. ....	33
Tabla 3. Valores de calificación del atributo rugosidad .....	34
Tabla 4. Clasificación de la Susceptibilidad de Acuenca .....	35

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. Mapa Topográfico	54
ANEXO B. Mapa Geológico	55
ANEXO C. Mapa Geomorfológico	56
ANEXO D. Mapa de Cobertura, Año 1980	57
ANEXO E. Mapa de Cobertura, Año 1990	58
ANEXO F. Mapa de Cobertura, Año 2000	59
ANEXO G. Mapa de Cobertura, Año 2010	60
ANEXO H. Mapa de Cobertura, Año 2017	61
ANEXO I. Mapa de Pendientes	62
ANEXO J. Mapa de Acuenca	63
ANEXO K. Mapa de Rugosidad	64
ANEXO L. Mapa de Morfométrico	65
ANEXO M. Mapa de Erosión	66
ANEXO N. Estructura SIG	67

## GLOSARIO

**Abanico:** También llamado Cono de deyección, en geomorfología, es una forma del terreno o accidente geográfico, formado cuando una corriente de agua, que fluye rápidamente, entra en una zona de menor pendiente, disminuyendo su velocidad, extendiéndose a la salida de un cañon en La llanura.

**Acuenca:** El atributo *acuenca* corresponde a la superficie de la cuenca aguas arriba de la celda cuya sumatoria de la superficie vierten a una celda determinada (cuenca acumulada). La variable se deriva del Modelo Digital de Elevación MDE y se expresa en m<sup>2</sup>. Si bien es una variable cuantitativa, los valores de superficie son múltiplo del área de una celda, no tratándose de una variable continua.

**Amenaza:** Un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales

**Avulsión:** En geología sedimentaria y geomorfología fluvial, se define como el abandono rápido del cauce en el cambio de pendiente.

**Cono:** Estructura en forma de cono o lóbulo, con laderas convexas de longitudes cortas a largas y pendientes que varían entre inclinadas a abruptas.

**Desastre:** Una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos.

**Destaponamientos:** Proceso de apertura repentina, en este caso, generando flujo de detritos a gran presión.

**Flujo Torrencial:** Se define como un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plástico (Índice de plasticidad menor al 5%), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.

**Vegetación Litofítica:** Vegetación que crece en una zona rocosa, es decir, que es restringida, debido a que no existen los nutrientes del suelo orgánico.

**Mapa de pendientes:** La pendiente se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal. Su valor se expresa en grados de 0° a 90° o en porcentaje, se relaciona con los movimientos en masa de manera que; a mayor

el grado de pendiente aumenta la susceptibilidad a los movimientos en masa. (Servicio geológico Colombiano, 2013).

**Movimiento en masa:** Equivale a definiciones como procesos de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa, deslizamientos o fallas de taludes y laderas. La terminología y clasificación de movimientos en masa, es conforme a la Guía para la evaluación de amenazas por movimientos en masa propuesta por el Proyecto Multinacional Andino (PMA), adoptada por Colombia (PMA: GCA, 2007), en la que movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad.

**Riesgo:** Medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, salud, propiedad o el ambiente. Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, o antrópico no intencional, en un periodo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

**Rugosidad:** La rugosidad del terreno se define como la variación de la pendiente en un área y representa la desviación del vector normal a la superficie en cada celda. El valor 1 corresponde a rugosidad nula y los valores se hacen menores al aumentar la dispersión de los vectores (alta rugosidad). (Servicio geológico Colombiano, 2013).

**Susceptibilidad:** Es la posibilidad de que se genere en un territorio determinado un proceso geológico o geomorfológico.

**Unidad Geomorfológica:** Espacio de terreno definido por varios elementos afines, pero con característica intrínseca propia.

**Umbrales geomórficos:** La superación de un límite o esfuerzo, que produce cambios súbitos en el sistema. (Ruptura Súbita del ambiente).

**Vulnerabilidad:** Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza.

## RESUMEN

Las cordilleras en Colombia, tienen una dinámica activa de levantamiento y sedimentación, asociado a la juventud de su creación.

El piedemonte llanero, es un lugar con procesos geomorfológicos activos, tales como; la de erosión, desestabilización y sedimentación de las rocas parentales de la cordillera oriental, en donde se encuentran los municipios de Labranzagrande y Yopal.

Labranzagrande, es un municipio ubicado al este del departamento de Boyacá, sobre la parte montañosa del río Cravo Sur y Yopal, es un municipio ubicado en el noroeste del departamento de Casanare, justo en la salida del río Cravo Sur en la llanura. Por la ubicación geológica y geográfica de estos dos municipios, es necesario, un control de los procesos dinámicos de las laderas de la cuenca en periodos determinados.

En consecuencia, este trabajo, usa la teledetección como herramienta para el seguimiento de la dinámica de laderas e hídrica del río Cravo Sur, incorporando los análisis de imágenes de satélite, modelos de elevación y de terreno, que junto a las fotografías aéreas antiguas y recientes, ayudan a detectar la ocurrencia de los procesos geoclimáticos y de los procesos antrópicos que representan las vulnerabilidades en los municipios vecinos de esta cuenca.

Finalmente, los mapas anexos, son el resultado, de la geología, erosión, morfometría y geomorfología, de las laderas de la cuenca, y sus respectivos procesos naturales en diferentes periodos, que sumado a los procesos externos (antrópicos), aceleran los riesgos a los cuales, están expuestos los pobladores de los municipios de Labranzagrande y Yopal.

El análisis particular de esta zona de la cuenca del río Cravo Sur, es un insumo importante de la información recolectada del grupo de investigación de la UPTC (Ya que, está enmarcado en el convenio entre la UPTC y la gobernación de Boyaca), que combinada con la identificación y zonificación de los deslizamientos antiguos descubren la cicatriz que estos eventos naturales han dejado en la forma del terreno y en la memoria de sus habitantes,-quien no conoce su historia, está condenado a repetirla-.

**PALABRAS CLAVES:** Amenazas, Deslizamientos, Flujo Torrencial, Fotografías aéreas, Susceptibilidad y Teledetección,

## ABSTRACT

The mountain ranges in Colombia have an active dynamic of uplift and sedimentation, associated with the youth of their creation.

*El piedemonte Llanero*, is a place with an active geomorphological process, reflected in the process of erosion, destabilization and sedimentation of the parental rocks of the eastern mountain range, where the municipalities of Labranzagrande and Yopal are located.

Labranzagrande is located in the east of the department of Boyacá, on the mountainous part of the Cravo Sur River. Yopal is located in the northwest of the department of Casanare, at the exit of the Cravo Sur River in the plain. Due to the geological and geographical location of these two municipalities, it is necessary to control the dynamic processes of the slopes of the basin in certain periods.

As a result, this work uses remote sensing as a tool for monitoring the slope and water dynamics of the Cravo Sur River, incorporating satellite image analysis, and elevation and terrain models, together with old and recent aerial photographs. That will help to detect the occurrence of the geoclimatic processes and the anthropic processes that represent the vulnerabilities in the neighboring municipalities of this basin.

Finally, the attached maps are the result of the geology, erosion, morphometry and geomorphology of the slopes of the basin, and their respective natural processes in different periods, which added to the external (anthropic) processes, accelerate the risks which hazard the inhabitants of the municipalities of Labranzagrande and Yopal.

The particular analysis of this area of the Cravo Sur river basin is an important input from the information gathered from the UPTC research group (since it is framed in the agreement between the UPTC and the Boyacá government), which combined with the identification and zoning of the ancient landslides they discover the scar that these natural events have left in the form of the land and in the memory of its inhabitants, -who does not know its history, is condemned to repeat it.

**KEYWORDS:** Threats, Landslides, Torrential Flow, Aerial Photography, Susceptibility and Remote Sensing.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de proyecto de grado está enmarcado dentro de las actividades del Grupo de Investigación de Ingeniería Geológica UPTC que adelanta desde el año 2002 (año de creación), motivados por la problemática generalizada en la parte oriental de la Cordillera Oriental de Colombia y el piedemonte llanero, relacionada por la ocurrencia de amenazas geoclimáticas y por la concientización de las amenazas presentes en la región, que pueden afectar a prosperas ciudades, muchas de ellas ubicadas en abanicos en construcción, en donde además de los flujos torrenciales, son comunes los sismos asociados al sistema de fallas del piedemonte llanero. En el año 2015, se inicia el proyecto OCAD: “Investigación aplicada a la modelación del territorio a partir del análisis geomorfológico del departamento de Boyacá” BPIN 2013000100288” BPIN 2013000100288, con recursos del Sistema General de Regalías.

Este informe, aborda la temática de la dinámica hídrica y de laderas de la cuenca del río Cravo Sur, en donde se encuentran localizadas las poblaciones de Labranzagrande en un abanico intramontano lateral, y la ciudad de Yopal, en el abanico en construcción del río en su salida a la llanura. Históricamente, estas dos poblaciones se han visto afectadas por flujos torrenciales, amenazas que hoy condicionan un riesgo muy alto ante las vulnerabilidades geográficas, físicas y sobre todo sociales.

Lo anterior motivó al grupo de investigación, a utilizar técnicas de teledetección con la aplicación de los sistemas de información geográfica, que permiten hacer seguimiento multitemporal a los elementos del paisaje que aportan susceptibilidades geológicas y geomorfológicas en el favorecimiento de los procesos de erosión y de movimientos en masa.

Entre los resultados, se tienen, además de la geodatabase, con toda la información contenida de los mapas temáticos de susceptibilidad por morfometría, unidades morfogénicas y erosión; así como la revisión histórica ambiental de procesos ocurridos que han representado amenazas. Este es el punto de partida para concientizar a las entidades relacionadas con la gestión del riesgo y sobre todo a los tomadores de decisiones, que los riesgos en la región son dinámicos, las amenazas que han actuado siguen vigentes, y que lamentablemente han aumentado las vulnerabilidades, lo cual invita a conocer el territorio y sus riesgos a los que están expuestos, con el fin de implementar las medidas estructurales y no estructurales para mitigar sus consecuencias, reduciendo vulnerabilidades y aumentando la resiliencia.

## 1. ÁREA PROBLEMÁTICA

Las cordilleras en Colombia, en constante actividad tectónica, tienen una dinámica activa de levantamiento y sedimentación, asociado a la juventud de su creación. Generalmente, los asentamientos humanos se han desarrollado en estas mesetas de sedimentación, ya sea por la cercanía a los recursos hídricos o la estrategia de ubicación para cambios comerciales.

El piedemonte llanero, es un lugar con procesos geomorfológicos, asociados a dinámica activa de erosión, desestabilización y sedimentación de la cordillera Oriental y en esta zona de paisaje cambiante, están ubicados los municipios de Labranzagrande y Yopal.

Labranzagrande, es un municipio ubicado al este del departamento de Boyacá, (de 5099 habitantes (Dane, 2015) y con una extensión de 635.3 Km<sup>2</sup>, localizado sobre la parte montañosa del río Cravo Sur a 1200 m.s.n.m. Yopal, está ubicado en el noroeste del departamento de Casanare, con una extensión de 2532 Km<sup>2</sup> y de 146204 habitantes (Dane, 2017), localizado en la salida del río Cravo Sur a la llanura a unos 300 metros de altitud.

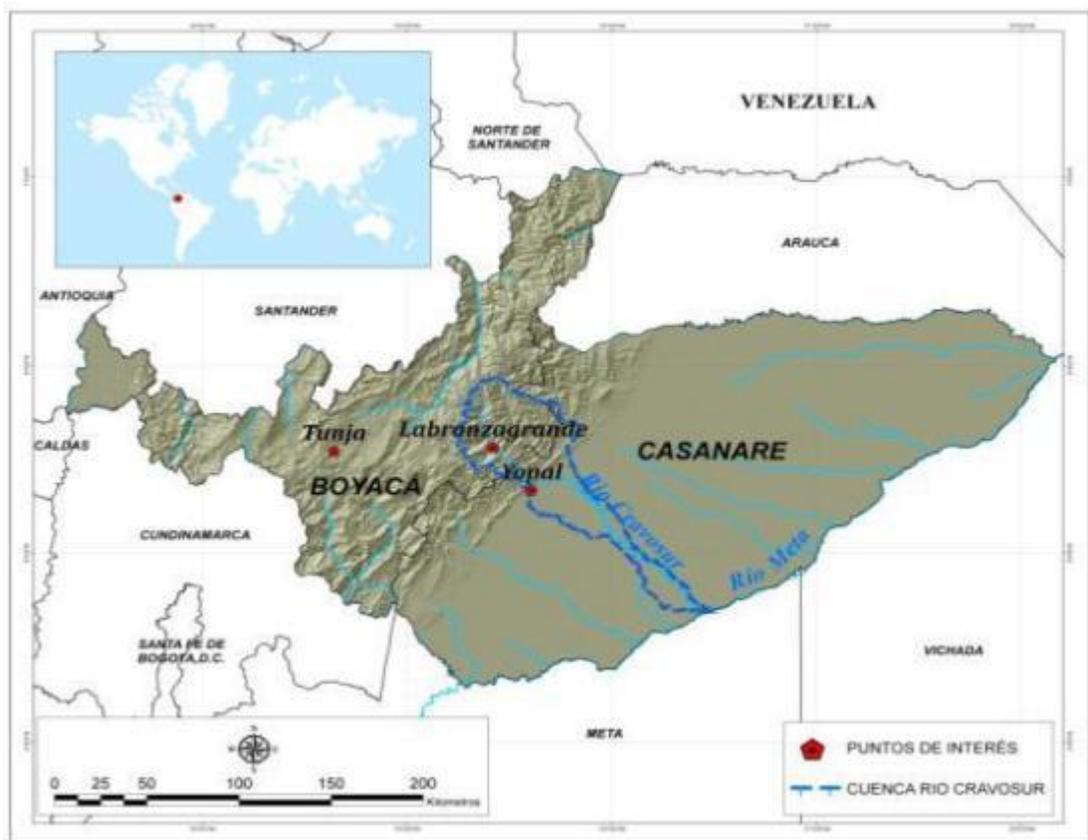


Figura 1. Localización de la Cuenca del Río Cravo Sur. Fuente: Proyecto de Investigación, UPTC

Estos municipios están influenciados por el Rio Cravo Sur, que nace en el páramo de Pisba y desemboca sus aguas en el rio Meta, y son afectados por la dinámica natural de la cordillera Oriental, que ha generado diferentes fenómenos de remoción en masa que afecta, no solo a la población y estructuras de Labranzagrande, sino que puede ser detonante de deslizamientos y/o avalanchas que podrían afectar el municipio de Yopal, que tiene un desarrollo poblacional, estructural y comercial del cual dependen otros municipios de Casanare, ubicados llanos adentro.

El grupo de investigación de la escuela de ingeniería geológica de la Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia UPTC, dentro del convenio *INTERADMINISTRATIVO ESPECIFICO No. 1610 DE 2015 UPTC – GOBERNACIÓN DE BOYACÁ – CAR*, llamado *“INVESTIGACIÓN APLICADA A LA MODELACIÓN DEL TERRITORIO A PARTIR DEL ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ”*, está trabajando en la geomorfología del departamento de Boyacá a escala 1:25.000. Asociados a este convenio, se han generado algunos trabajos de investigación de pregrado, de especialización y de maestría, para la complementación del convenio de la UPTC. En consecuencia para el área de estudio se requiere un análisis y seguimiento particular de los procesos geomorfológicos que han afectado a las poblaciones de Labranzagrande y Yopal, que serán un insumo para los productos de dicho convenio y también para estudios más detallados de esta cuenca y la futura toma de decisiones por los entes encargados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar un seguimiento de los procesos geomorfológicos de las laderas de la cuenca del Río Cravo Sur, que han representado amenazas a las cabeceras municipales de Labranzagrande y Yopal, a través de las herramientas de teledetección y organizar estos resultados en una estructura SIG, para el acceso y la evaluación de los fenómenos de remoción en masa por parte de los entes gubernamentales de Boyacá.

### **2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS**

- Compilar y analizar la información obtenida por el grupo de investigación de la UPTC, y organizarla en estructura geodatabase, a fin de identificar los cambios morfométricos del cauce y de las laderas de la cuenca del Río Cravo Sur, entre los municipios de Labranzagrande (Boyacá) y Yopal (Casanare).
- Identificar y delimitar la geomorfología, a través de las imágenes obtenidas por medio de la teledetección, de las laderas de la cuenca del Río Cravo Sur entre Labranzagrande y Yopal y sus cambios.
- Espacializar y analizar el crecimiento y los cambios de las áreas urbanizadas de los municipios de Labranzagrande y Yopal y sus posibles amenazas naturales.
- Estructurar en una geodatabase, los resultados de la delimitación obtenidos, con el fin de que la información sea de fácil manejo, para los profesionales de las CAR y las instituciones oficiales, que hacen parte del convenio de Investigación junto con la UPTC.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La superficie terrestre, y en especial el paisaje, es un proceso dinámico y cambiante. Particularmente en la cordillera Oriental y en el piedemonte llanero, en donde los eventos naturales, como los deslizamientos y los fenómenos de remoción en masa, son los modeladores permanentes del paisaje. Desafortunadamente, los lugares en donde ha habido desastres naturales, ya sea inundaciones, flujos torrenciales, flujos de lava, son especialmente atractivos para asentamientos humanos, ya sea por la riqueza de los suelos para cultivos, generada por las cenizas de los volcanes, o por la riqueza hídrica cercana a las poblaciones.

El análisis geomorfológico de la cuenca del río Cravo Sur, se realiza teniendo en cuenta los eventos de sedimentación en los años 1938, 1954, 1992 y 2016, en el trayecto desde Labranzagrande hasta Yopal.

El río Cravo Sur en su recorrido desde Labranzagrande (Boyacá) hasta Yopal (Casanare), está modelando el paisaje por medio de sus procesos de socavación, de sus cambios de cauce, de deslizamientos en la margen del río y en general de la dinámica del río asociada con la capacidad de los materiales de la cuenca. Además de las actividades antrópicas como la deforestación, el reemplazo de las especies nativas, las quemadas “controladas” para cultivos, el sobrepastoreo etc. Y como todos estos procesos tienden a ser recurrentes, es importante establecer un histórico de deslizamientos, hacer un seguimiento de las zonas más críticas y realizar una delimitación de áreas problemáticas con el fin de generar información que pueda llevar a la prevención de un futuro evento y/o a actividades de mitigación. El análisis particular de esta zona de la cuenca del río Cravo Sur, es una evaluación importante de la información recolectada del grupo de investigación de la UPTC, que combinada con la identificación y zonificación de los deslizamientos antiguos descubren la cicatriz que estos eventos naturales han dejado en la forma del terreno y en la memoria de sus habitantes, -quien no conoce su historia, tiende a repetirla-.

Las imágenes con herramientas de teledetección, permiten que se pueda realizar un primer acercamiento a los municipios más alejados del departamento, para que, por medio, de esta primera evaluación se prioricen los planes de desarrollo de los gobiernos y las actividades de la gestión del riesgo. De igual manera, el acceso a esta información en una estructura SIG, es importante, para que estos análisis, sean rápidos y claros, para los profesionales asociados a las dependencias oficiales como las CAR, de Boyacá, Yopal y Cundinamarca y las oficinas de planeación de la gobernación de Boyacá y de las diferentes alcaldías, ya que este tipo de estructura, posibilita la consulta espacial y la actualización de las capas de los nuevos estudios que cada entidad realice.

Este tipo de convenios liderados por la universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia y la gobernación de Boyacá, pueden ser el principio de cambios de actitudes y la visión de las corporaciones autónomas regionales, las alcaldías y en general de los actores de la decisiones importantes de los municipios y del departamento de Boyacá.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 DINÁMICA HÍDRICA DE LA CUENCA

El problema de investigación de la dinámica hídrica de la cuenca del río Cravo Sur utilizando técnicas de teledetección está encaminado a conocer los procesos geodinámicos y antrópicos, que de forma acumulada a través del tiempo o ligados a “crisis morfogénicas”, han dado lugar a cambios o evolución de sus relieves y modelados. Estos procesos representan de igual forma, amenazas para centros poblados e infraestructura establecidas en sus geoformas, sin tener en cuenta el conocimiento previo del territorio, particularmente la génesis de unidades o subunidades geomorfológicas que conforman el paisaje del territorio evaluado.

Por lo anterior, como punto de partida, una vez delimitada la cuenca hidrográfica, se interpreta la morfogénesis, morfodinámica y morfometría de la cuenca en escala 1.100.000, de acuerdo con la metodología del Servicio Geológico Colombiano, teniendo como insumos la cartografía topográfica, los modelos de elevación y de terreno, imágenes de satélite y fotografías aéreas.

Definidos los ambientes geomorfológicos, sus unidades y subunidades, la investigación se centrará en la identificación de procesos geomorfológicos en los periodos de 1938, 1954, 1992 y 2016, teniendo en cuenta la evolución de relieves y modelados, y su incidencia en las geoformas donde se asentaron los centros poblados de Labranzagrande y Yopal. Esto último, constituye los elementos de vulnerabilidad a los que están expuestas las poblaciones y sus infraestructuras.

En el conjunto de conocimientos que nos permite delimitar teóricamente los conceptos planteados, se resaltan los modelados aluviales, resultantes de la dinámica fluvial del río Cravo Sur, entendiéndolo (en este estudio de caso) como un sistema de transferencia a nivel cuenca desde sus nacimientos hasta su salida a la llanura, en lo que se denomina piedemonte, identificando “áreas de aporte”, “transporte” y “acumulación”. La parte alta de la cuenca, en el pasado tuvo un aporte glaciar, sumado a los actuales aportantes: periglaciares, lluvia y neblina. Estos flujos son concentrados, y por escurrimiento y disección el caudal y los sedimentos van a los ejes de drenaje; en la segunda parte, el proceso es básicamente el transporte, aunque por disección hay también arranque de los materiales de fondo y las márgenes que se incorporan como sedimentos a las corrientes.

En el río Cravo Sur, es común encontrar barras litológicas en valles angostos y profundos, que en algunos casos, han favorecido la acumulación rápida de sedimentos y represamientos del río con destaponamiento a alta presión. En la parte baja (piedemonte o borde de llanura), por el cambio de pendiente, disminuyen la competencia y capacidad de carga, dando lugar a la sedimentación en conos y abanicos aluviales o aluvio-torrenciales. El término “piedemonte”, se refiere al área ubicada al pie de una elevación del terreno. En sentido topográfico,

indica un cambio de pendiente, entre la abrupta de la montaña y la poco inclinada de las llanuras aluviales.

En el área de la cuenca del río Cravo Sur se encuentran dos poblaciones en las cuales a través del tiempo sus pobladores, sus infraestructuras, servicios y actividades, se han visto afectadas por las dinámicas hídricas y de laderas asociadas a crisis morfogénicas a nivel cuenca o a procesos localizados en respuesta a variabilidades climáticas. Particularmente los dos sitios poblados se encuentran en sendos abanicos “en construcción”; el de Labranzagrande correspondiente a un abanico lateral, en la margen izquierda del río Cravo Sur (a una altitud media de 1.110 m.s.n.m.), el frente distal está limitado por el cauce principal del río Cravo Sur, los flujos han representado en algunos casos, represamientos del río, y en otros, desplazamientos del cauce del río, inestabilidad de las laderas de la otra margen, y socavación en sus dos orillas. Sobre el abanico “en construcción”, periódicamente se han presentado procesos de “avulsión”, en los cuales los flujos torrenciales, han llegado hasta la cabecera municipal y el cauce del río.

La otra población es la Ciudad de Yopal, capital del departamento de Casanare, ubicada en un abanico fluvio torrencial en el piedemonte a la salida del río Cravo Sur a la llanura. La ciudad se ubica en la parte apical frontal del abanico una altura media de 340 m.s.n.m. El río en este sitio se ha recargado hacia el límite norte del abanico, con un fuerte viraje en su dirección de salida, pasando de SE en la parte montañosa a NEE en el piedemonte, con consecuentes procesos de desbordes, socavación y movimientos en masa. La distancia entre las dos poblaciones, seguida a lo largo del cauce del río es de 30 kilómetros.

La historia ambiental de la cuenca, ligada principalmente a la dinámica de vertientes (laderas) y a la dinámica hídrica del río Cravo Sur, está plasmada en parte, en la ocurrencia de procesos geomorfológicos de origen natural que han afectado las dos cabeceras municipales.

## **4.2 HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN**

Las imágenes de sensores remotos (fotografías aéreas del IGAC), constituyen documentos de gran importancia, en el seguimiento de los procesos y la espacialización de las amenazas desde la década del 30 del siglo XX hasta el presente, periodo en el cual, además de ocurrir eventos asociados a crisis morfogénicas asociadas a periodos lluviosos normales, variabilidades climáticas con demasía de lluvias o eventos cosísmicos (por documentar); han visto, la participación acelerada de procesos antrópicos que han incrementado las vulnerabilidades de los centros poblados y por ende, el riesgo para las comunidades expuestas a los mismos procesos geoclimáticos que han estado actuando desde mucho antes de la ocupación humana de estos territorios.

En las últimas dos décadas los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en el seguimiento de la dinámica de laderas e hídrica del río Cravo Sur, han incorporado la utilización de imágenes de satélite, modelos de elevación y de terreno, que junto a las fotografías aéreas multitemporales, han permitido

auscultar con mayor frecuencia, la ocurrencia de los procesos geoclimáticos y de los procesos antrópicos que representan las vulnerabilidades.

De acuerdo con reportes de prensa e informes técnicos del Servicio Geológico Nacional, el Departamento de Boyacá, se vió altamente afectado por periodos lluviosos entre finales de 1.933 hasta 1.938, periodo que coincide con la ocurrencia de los primeros eventos documentados con fotografías aéreas en la cuenca del río Cravo Sur, tanto los deslizamientos y flujos torrenciales ocurridos en el cono de Labranzagrande; y el proceso de avulsión (flujo torrencial) del abanico en construcción en el piedemonte a la salida del río, que en ese entonces, además de ser un espacio para la actividad ganadera, era un cruce de caminos ganaderos, en donde posteriormente se fundaría la hoy prospera Ciudad de Yopal.

En la fotografía pancromática del IGAC No 329 (B-142), escala 1:40.000 tomada en diciembre de 1938, muestra el inicio de una cronosecuencia de la dinámica documentada de los movimientos en masa compuestos y los flujos torrenciales en el municipio de Labranzagrande (Boyacá), en la cuenca del río Cravo Sur (IGAC,1984). Otro de los eventos documentados, corresponde al ocurrido a finales de 1954, que se puede ver claramente en las fotografías aéreas pancromáticas No. 3873-3875 (vuelo M 42) escala 1.60.000, tomada el 24 de enero de 1955. Thomas Van Der Hammen, como delegado del Servicio Geológico Nacional, en diciembre de 1954, realizó una visita de reconocimiento al área afectada en el municipio de Labranzagrande. En el informe presentado, describe que “la impetuosa corriente de barro y bloques de arenisca, afectó al pueblo y destruyó algunas casas”. De igual manera, advertía que “es seguro que el derrumbe afectará cada vez más al pueblo y a causa de un invierno fuerte puede ser posible un desenlace catastrófico”. Al ser indagado que cuando ocurriría otro evento desastroso, atinó a afirmar que era imposible adivinar si fuera en el próximo invierno o trascurridos 50 años, y que en todo caso el peligro existía, por lo que era necesario tomar medidas necesarias para evitarlo. Entre algunas de las medidas sugeridas, estaba la construcción de unas murallas de contención al N y NE del pueblo para dirigir los flujos torrenciales más al este; aunque la mejor solución, de ser posible, era trasladar la población a otro sitio, en razón a que muy probablemente, dentro de un periodo más o menos largo sería necesario hacerlo.

Por su parte, en la fotografía pancromática 198 (B-105, S-10443) del año 1.937, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, se ve claramente que, en unos meses anteriores de la toma de la fotografía, un flujo torrencial rebasó el cauce activo normal del río (en ese entonces), irrigando frontalmente lo que hoy denominamos “abanico en construcción de Yopal”.

Para el mismo Yopal, existen periódicos vuelos del IGAC, con fotografías aéreas pancromáticas multitemporales que ilustra no solo la dinámica del río Cravo Sur sus procesos de socavación y desestabilización de laderas en la parte apical del abanico, sino que igualmente, muestra el proceso de crecimiento de la cabecera

municipal, y la vulnerabilidad asociada a la exposición y posibles afectaciones ligadas a la dinámica fluvial. En la última década se suman los productos de imágenes de satélite, modelos de elevación y de terreno, que facilitan la mayor frecuencia de evaluación multitemporal.

De acuerdo a lo anterior, la investigación se centrará en estructurar e interpretar mapas e imágenes multitemporales que involucren evolución o cambios de relieves y modelados, así como la identificación de procesos multitemporales que espacialicen la amenaza, cambios en el curso del río, procesos de socavación, y movimientos en masa. De igual manera, se delimitará y evaluará multitemporalmente, la expansión de las cabeceras municipales y su relación con las vulnerabilidades en cada uno de los centros poblados, buscando similitudes en fechas de evaluación de acuerdo con eventos documentados de los años 1937-1938, 1954, 1992 y en la actualidad.

#### **4.3 ANTECEDENTES**

Colombia por su geología, geomorfología, clima y topografía, está expuesta a todo tipo de movimientos en masa en casi la totalidad del territorio ocupado por el sistema montañoso, desde los deslizamientos que sólo se evidencian con fenómenos geomorfológicos, hasta los de gran magnitud, que requieren instrumentación y seguimiento de parte de varios profesionales (Jaime Suarez). Sin importar el tamaño del fenómeno ni la cantidad de material desplazado, estos eventos afectan desde pequeñas comunidades hasta ciudades con un gran desarrollo poblacional.

El Piedemonte, es una geoforma estructural, que se ubica entre la cordillera (bloque levantado - área de disección) y la depresión lateral (llanura – área de acumulación), separados tectónicamente por fallas de cabalgamiento (Tricart, 1993). En Colombia el piedemonte llanero tiene como bloque levantado, la cordillera Oriental y como área de acumulación los llanos y selvas de los departamentos del Meta, Casanare, Arauca, Vichada, Caquetá y Putumayo. El departamento del Casanare y las laderas del río Cravo Sur, no son ajenas a los fenómenos de remoción en masa, asociados a inundaciones (UPTC). Por ejemplo, desde 1937 hasta el 2016 se han observado importantes eventos tanto para el municipio de Labranzagrande como para la zona cercana a Yopal, sin desconocer que estos eventos no han tenido el seguimiento apropiado y el análisis global que se necesita para encontrar la relación cercana de la creación de ambos abanicos; en el que está asentada la población de Labranzagrande y en el que crece en grandes proporciones la ciudad de Yopal, todo esto asociado a las actividades de gestión del riesgo que deben ser mancomunadas entre las autoridades de Boyacá y de Casanare.

Los estudios de gestión del riesgo, en Colombia, en general, no han sido amarrados con la herramienta SIG, quizá, debido a la novedad de la herramienta o a la falta de profesionales especializados en ambos temas, sin embargo, se hizo una revisión de estudios asociados y se presenta la metodología y resultados de los elegidos por el autor de este documento.

En Villavicencio, en la población de Servitá (Leyva, 2011), utilizó una metodología para la identificación de geoformas mediante los sensores remotos. Servitá, que está localizado en la cuenca del río Guatiquía, con características de procesos que sufre el piedemonte llanero -Localizado en el departamento del Meta-. Este trabajo inicialmente se hizo una visita a campo y se identificó zonas de deslizamientos y de cárcavas, se definió el área de estudio que fue la Cárcava de Servitá. Además se hizo un análisis multi-temporal de la microcuenca de la quebrada La Argentina, con fotografías aéreas e imágenes de satélite que sirvieron para la seguir la evolución del proceso de la Cárcava de Servitá, desde 1980 hasta 2003. Finalmente, por medio de métodos de interpolación, se evaluó la evolución de la cárcava de Servitá a través de cambios en su topografía y demás variables involucradas. Este proceso fue muy interesante, debido a que existen zonas de poco acceso físico, en donde se puede utilizar esta metodología, para seguimientos de fenómenos de remoción en masa y llegar a posibles alertas tempranas. Pero también tienen la dificultad, de que en zonas donde los DEM y los datos sean restringidos o parciales, los resultados se pueden ver afectados por una falla en la distribución de la densidad de puntos u otros problemas en el muestreo.

Por su parte es de resaltar en esta temática, el trabajo de Edrosa (2011), en su *Aplicación de teledetección para monitoreo de eventos hídricos superficiales*, en donde se tenía la problemática de los cambios en los niveles de agua de la cuenca del río Paraná en Argentina, se usó imágenes de satélite SAR, que son ideales para la detección de humedad (Soldano, 2007), para generar un sistema de alerta temprana, que facilitara la planeación de labores de agricultura y ganadería de las comunidades vecinas a este delta. A través del estudio, se hizo revisión de las inundaciones del delta del río Paraná, se obtuvo las imágenes y se procesaron para realizar las correcciones necesarias, ya que (SAR), conservan una alta relación señal/ruido que debe disminuirse con la combinación de otras variables como filtros espaciales para mejorar los resultados, pero estos filtros tienden a disminuir la resolución espacial de dichas imágenes, lo que dificulta el análisis y la claridad de los resultados. Después de hizo verificación de esta información en campo, mediante algunas muestras de control, generando unos mapa de zonificación de áreas inundables en la cuenca. Finalmente, se concluyó que la metodología logró resultados precisos con algunas limitantes, como, cuando el radar no detecta zonas someramente inundadas y algunas zonas con alta vegetación, lo que puede llegar a parcializar los resultados temáticos.

Seguidamente, en el año 2013, el ingeniero Civil Jairo Alexander Díaz, realizó un inventario en la ciudad de Bogotá, en la localidad de ciudad Bolívar, debido a un problema de fenómenos de remoción en masa, constante en la zona, debido a la litología del terreno, y a los asentamientos humanos, algunos de tipo ilegal, que generan amenazas y riesgo para la población.

En este trabajo el ingeniero Díaz, realizó una recopilación de la información de entidades gubernamentales, hizo la clasificación, selección y organización de dicha información y después a través de un SIG, generó una base de datos de tipo espacial que ayudaría a tomar decisiones a los entes encargados del distrito. Los resultados fueron, después de una superposición de la topografía, geología, hidrografía, una ubicación general de las áreas urbanizadas y con la localización de los movimientos en masa activos según datos de otros autores, se espacializó una zona de alta vulnerabilidad, que serviría de insumo para otros estudios de la ciudad de Bogotá.

También se ha usado imágenes particulares como las del sensor MODIS para la detección de movimientos en masa a escala regional (2014), en donde Moncada midió cambios de superficie de deslizamientos en el oriente Antioqueño, por medio de respuestas espectrales en los ecosistemas terrestres asociados con los movimientos en masa. Usando las series de tiempo en NVDI-MODIS se observan los cambios (de tipo regional) sobre la vegetación, es decir que se buscan zonas en donde la cobertura ha desaparecido y la presencia del suelo desnudo, podría ser un indicio de un movimiento de remoción en masa, aplicando filtros como la pendiente, la precipitación etc.

En años más recientes, Rodríguez (2016), realizó un *análisis multi-temporal geomorfológico para estudiar los movimientos en masa en el municipio de Gramalote*, Norte de Santander, en donde evaluó la dinámica de los procesos de remoción en masa por medio de fotografías aéreas y otras imágenes de diferentes épocas, delimitando áreas geomorfológicas como escarpes, depósitos de ladera, cambios en el uso del suelo y otros procesos como terracetos de sobre-pastoreo, que son detonante de los deslizamientos y su dinámica en cada temporada. Se analizó específicamente las laderas de la quebrada la Caldelera, y se identificó procesos de erosión cambiantes y crecientes, acentuados por la socavación de la quebrada, la pendiente del terreno, los cambios de cauce y la disminución de áreas boscosas. Finalmente, él obtuvo mapas temáticos en donde se aprecia zonas de escarpe de falla, que han afectado y están afectando el casco urbano del municipio, insumo para estudios de riesgos en la zona.

Particularmente, en la cuenca del río Cravo Sur (zona de estudio), desde Labranzagrande hasta Yopal, se han realizado algunos estudios en diferentes épocas, pero estas visitas de campo, no fueron hechas por la misma entidad ni están consolidados en un informe de seguimiento de estos fenómenos. A continuación se presentan los más relevantes para el tema de esta tesis.

En 1938, el ingeniero Chaves por petición del Servicio Geológico Nacional, realizó una visita al municipio de Labranzagrande, más exactamente al deslizamiento del valle de la quebrada Grande, afluente del río Cravo Sur, en donde realizó una verificación en campo, encontrando que el fuerte buzamiento de los taludes, unido a la infiltración de las aguas lluvias, generó un arrastre de materiales de gran magnitud que atravesaban el casco urbano del municipio. En su análisis el ingeniero Chaves concluye que las obras de mitigación –de índole ingenieril- eran muy costosas para el presupuesto del municipal y que se debía realizar un seguimiento del cauce de la quebrada para prevenir futuros eventos, debido a que la reubicación de la comunidad no era factible por las facilidades económicas que la ubicación del pueblo ofrecían. El informe del ingeniero civil, fue guardado en la biblioteca del olvido.

Sin embargo, en 1954, después de un nuevo evento, el alcalde de Labranzagrande invitó al doctor Thomas Van Der Hammen, a realizar una nueva visita, en donde revisó geológicamente hacia el norte del municipio y encontró que la saturación del material conformante, en épocas de lluvia, era demasiado susceptible a deslizarse, y que este material estaba formando el abanico sobre el cual estaba construido el pueblo. Las recomendaciones del doctor Van Der Hammen, fueron la reubicación de la comunidad, en una zona llamada El Salitre a 5 km de la actual, de lo contrario, igual que el ingeniero Chaves, recomendó obras de contención que protegieran la comunidad.

Obviamente las recomendaciones aún reposan en los informes de los profesionales. Porque en el año 1992, el geólogo Justo Padilla, realizó una visita a campo, recorriendo los deslizamientos por el río Cravo Sur, desde Labranzagrande hasta Yopal, retomando los estudios de sus anteriores colegas. En esta oportunidad el evento ocurrido en abril de 1992, cambió el cauce de la quebrada Grande y de algunas afluentes. Adicionalmente el geólogo concluyó que probablemente este tipo de deslizamientos no afectaría el casco urbano de Yopal y recomendó, además de las obras civiles, una concientización a la comunidad de Labranzagrande, para detener la tala indiscriminada de la vegetación nativa así como el crecimiento de las zonas de cultivos limpios en la región.

Sin duda alguna, la alcaldía de Yopal, también ha estado interesada en la evaluación de amenazas de su municipio, por eso en el año 2008 en convenio con la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), realiza una evaluación preliminar de amenazas del municipio de Yopal, aplicando un SIG, por medio de un inventario de deslizamientos encontrados en el casco urbano. En este estudio, se realizó una evaluación de mapas temáticos como; mapa de pendientes, mapa geológico, mapa geomorfológico, mapa de drenajes, mapa de uso del suelo etc., y se obtuvo un análisis de susceptibilidad y un mapa preliminar de amenaza por fenómenos de remoción en masa. La UPTC concluye, que a pesar de que en el SIG, hace falta información detallada como el análisis de sismicidad y otras variables, es importante que aparte de las medidas

estructurales de protección, se conserve algunas áreas de bosques en donde el río pueda seguir su dinámica de construcción de abanico.

En consecuencia, en el año 2010, la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) en cabeza del ingeniero Héctor Fonseca, organizó la *Primera Conferencia de Gestión del Riesgo en el Piedemonte Llanero, en la ciudad de Yopal*, en donde congregó diversos profesionales interesados en los procesos de los fenómenos de remoción en masa que afectan al piedemonte llanero. Allí el ingeniero Fonseca en su conferencia sobre el *Entorno Natural del Piedemonte Llanero*, expuso su preocupación acerca de los procesos geomorfológicos que sucedían en el municipio de Labranzagrande, porque estos estarían afectando en tal magnitud, que llegaban hasta el casco urbano de Yopal. Todo esto justificado en los eventos pasados; como en el año 1938 referenciado por el ingeniero Chaves en Labranzagrande y en el año 1937 en Yopal, observado en las cicatrices geomorfológicas de las laderas de la cuenca y soportado en antiguas fotografías aéreas de la zona. Con base en esto, el grupo de investigación de ingeniería geológica, después de obtener el apoyo de la gobernación de Boyacá, inició el proyecto de modelación del territorio desde el año 2015, en donde, entre otras actividades, realiza un inventario en campo de todos los deslizamientos del departamento a escala 1:25.000. Para el inicio de este proyecto de investigación, el grupo de profesionales de ingeniería geológica de la UPTC, en 2015 hizo una revisión de la información de deslizamientos existentes en el departamento de Boyacá, encontrando que en el inventario nacional de pérdidas *Desinventar.org*, existe información de fenómenos de remoción en masa en el municipio de Labranzagrande y también en estudios del CREPAD. Esta información no está muy detallada técnicamente y la escala de trabajo tampoco es la adecuada para hacer un seguimiento de estos procesos, que aporte a la gestión del riesgo, debido a los problemas de acceso a este municipio, aunado a las conocidas condiciones sociales y de seguridad de antaño.

En la actualidad, existen muchas instituciones de profesionales ocupados por el tema de la gestión del riesgo en Colombia, en mayo de 2017, el grupo de geólogos de la universidad Nacional (AGUNAL), debido a la tragedia en el municipio de Mocoa y después de una mesa de trabajo al respecto, generaron un documento acerca del riesgo de avalancha del municipio de Yopal. Allí la asociación analiza que el municipio se ha asentado sobre un abanico y ha desbordado su crecimiento estructural y poblacional sin la debida gestión del territorio por parte de sus autoridades, por lo que el municipio puede estar en riesgo de una avalancha por el río Cravo Sur, debido a que el río “tiende a ocupar áreas que geológicamente le han pertenecido” (AGUNAL, 2017). Finalmente AGUNAL, expresa su preocupación debido a que las medidas de mitigación y de protección que tome sus autoridades sea analizada, diseñada y propuesta por profesionales en el área, con estudios actuales y a escalas detalladas, para que la zonificación de alto, medio y bajo riesgo, sea acorde a la realidad y en la magnitud del futuro evento.

Estos informes detallados de la región muestran que la problemática de la cuenca del río Cravo Sur, lo mismo que sus afluentes, ha sido acentuada por los procesos de deforestación y cambios del uso del suelo, que han degradado progresivamente los materiales dejando las laderas vulnerables a diferentes fenómenos de remoción en masa, que pueden ser detonados por actividad tectónica, aumento de la precipitación o simplemente por la gravedad.

De la totalidad de esta recopilación y análisis se concluye que las técnicas de teledetección son una gran ayuda para la recolección de datos de todas épocas y para el seguimiento de los mismos, pero hay que tener en cuenta los problemas de resolución de la toma de imágenes, las condiciones de nubosidad, los problemas de escala, la fecha de captura y las demás limitantes del procesamiento de las imágenes que son importantes variables para obtener resultados cercanos a la realidad. Esto conlleva a una necesidad permanente –por lo menos por ahora- de las verificaciones de campo, que aún no pasan de moda, para la elaboración de mapas temáticos y de zonificación de riesgos, vulnerabilidad y amenazas naturales en las comunidades.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Se realizó con el objetivo de corroborar la información inicial disponible e identificar los parámetros necesarios para el posterior análisis multitemporal, evitando redundancia de información para posteriormente realizar las correcciones pertinentes.

La búsqueda de información se hizo por medio de bases de datos de información vía web, como los brindados por el portar virtual de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Se obtuvo información relacionada a la cuenca Cravo Sur con el fin de hacer un reconocimiento de las características del área de estudio, además de investigar proyectos realizados donde el objetivo de estudio fueran análisis multitemporales utilizando imágenes satelitales, como las imágenes cuentan con diferente número de bandas, por esto para agilizar la tarea de procesamiento se realiza una composición de las bandas para generar un solo archivo.

Para la descarga de las imágenes se deben tener en cuenta ciertas características como son:

- Fecha de la imagen. Se emplean capturadas en la misma época del año, preferiblemente en tiempo seco, para garantizar una buena interpretación.
- Contener las 6 bandas del espectro.
- No tener más de un 10% en nubosidad.
- Que cada imagen contenga su Metadata

Dichas imágenes satelitales, fueron organizadas y seleccionadas con el fin de tener información adicional que fuera de utilidad en el momento de la interpretación de la cuenca del Cravo Sur (Ver figura 2, 3 y 4).

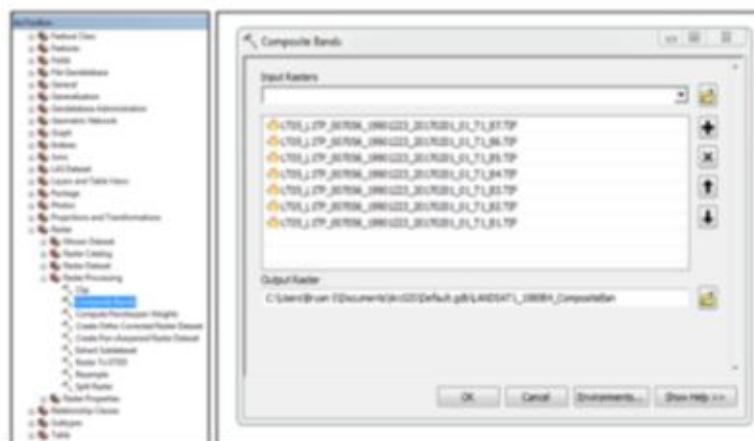


Figura 2. Interfaz Arcgis 10.2.2, herramienta Composite Bands  
Fuente. Arcgis 10.2.2

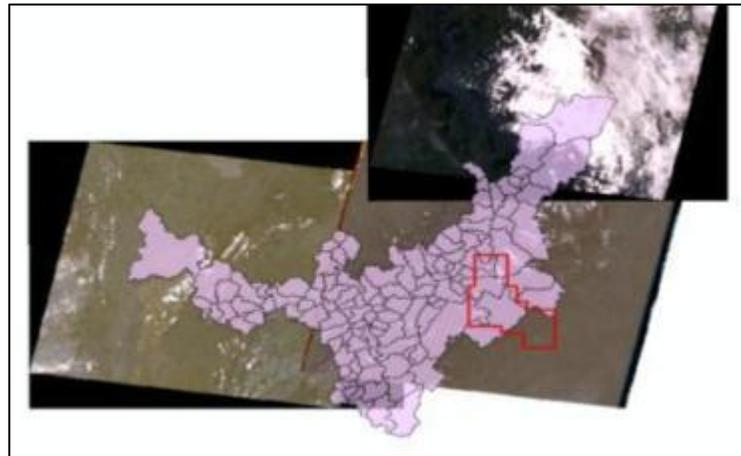


Figura 3. Mosaico de imágenes LANDSAT 2010 – 2012

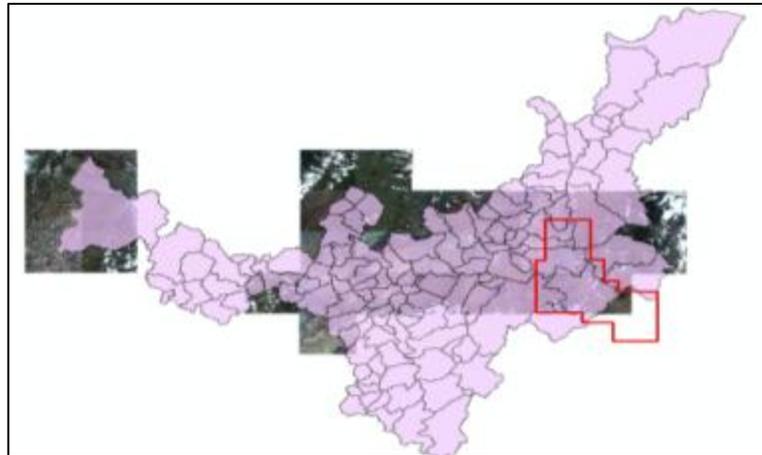


Figura 4. Mosaico de imágenes RAPIDEYE 2012

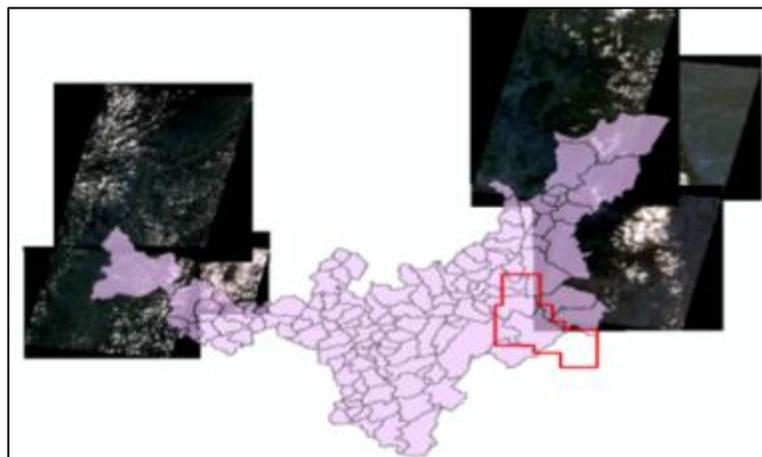


Figura 5. Mosaico de imágenes RAPIDEYE 2010

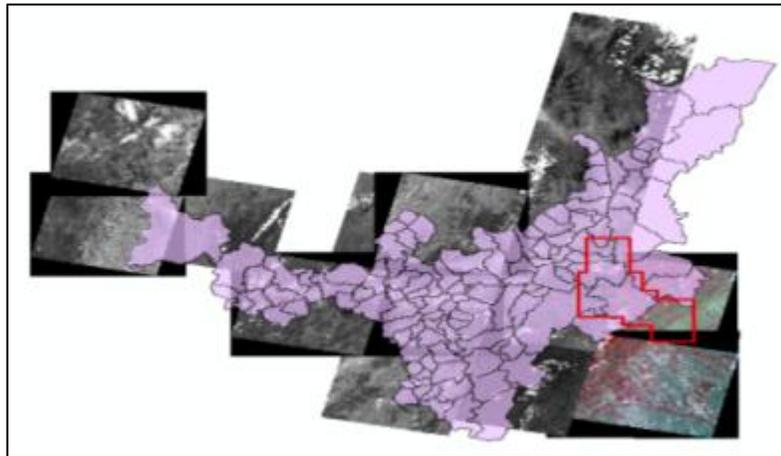


Figura 6. Mosaico de imágenes SPOT 2003 – 2008

## 5.2 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

El análisis de la dinámica hídrica, requiere una interpretación visual, casi en su totalidad, para identificar los diferentes movimientos de remoción en masa de las laderas y en general de los cambios temporales, que se pueden observar en la cuenca. Sin embargo, para llegar a estas imágenes a interpretar, se requiere un porcentaje de manejo digital de las imágenes, con miras a que sean un insumo satisfactorio, que no genere errores adicionales en la obtención de resultados.

Para el análisis digital de las imágenes se utilizaron, entre otras, las siguientes herramientas:

- Correcciones Geométricas
- Método puntos de control
- Corrección Radiométrica
- Correcciones Atmosféricas
- Realces y Mejoras de a Imagen

## 5.3 INFORMACIÓN TEMÁTICA

Para la obtención de la información de tipo temáticos, el proyecto marco de la escuela de ingeniería geológica de la UPTC, marco de este trabajo, obtuvo los siguientes insumos.

INSUMOS	ESCALA	FORMATO	FUENTE
Cartografía geológica	1:100.000	Pdf	Sgc
Cartografía geológica	1:100.000	Pdf	Igac
Modelo digital de elevación	12.5 m picel	Raster	Uaf

Planchas de unidades geológicas y memorias técnicas	1:100.000	Geodatabase	Igac
Base topográfica	1:25.000	Geodatabase	Igac
Base topográfica	1:100.000,	Geodatabase	Igac
Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000	No aplica	Digital	Sgc
Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.	No aplica	Digital	Sgc

Tabla 1. Insumos temáticos revisados

- Búsqueda y recopilación de información preexistente
- Obtención de un de DEM de detalle
- Adquisición cartas topográficas escala 1:100.000
- Creación del Hillshade.
- Delimitación manual cuenca hidrográfica
- Delimitación de la zona de estudio
- Adquisición de planchas topográficas escala 1:25.000
- Edición planchas topográficas escala 1:25.000

Después de este proceso se obtuvieron los mapas insumos terminados para el análisis de los cambios de la cuenca del río Cravo Sur, con base en la “Propuesta Metodológica Sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000”.

Para la evaluación geomorfológica, se utilizó la metodología del servicio geológico colombiano en escala 1.100.000 del año 2013. Esta metodología, incluye los atributos de morfometría, morfogénesis y morfodinámica, asignándole ponderaciones, de 40%, 30% y 30%, respectivamente.

La morfogénesis relaciona, ambientes geomorfológicos con respectivas unidades y subunidades, derivadas de los aspectos genéticos, que dieron lugar a las mismas, esto significa el origen de las formas del terreno, causas y procesos que dieron forma al paisaje, incluyendo procesos internos de la tierra (relieve) y la

modificación por agentes externos (modelados). Dependiendo del origen de los depósitos, se puede definir la susceptibilidad por morfogénesis del terreno. Las geformas con ambientes fluviales son consideraras, determinantes en la zonificación por inundación y flujos de detritos.

La morfometría, define las relaciones espaciales relativas de la unidad morfológica e incluye aspectos morfográficos dentro del proceso de valoración y cuantificación. La morfometría evalúa parámetros representados en términos de pendiente, rugosidad y acuenca, usando como insumo principal el modelo digital de elevación (DEM) y que posteriormente son procesados aritméticamente.

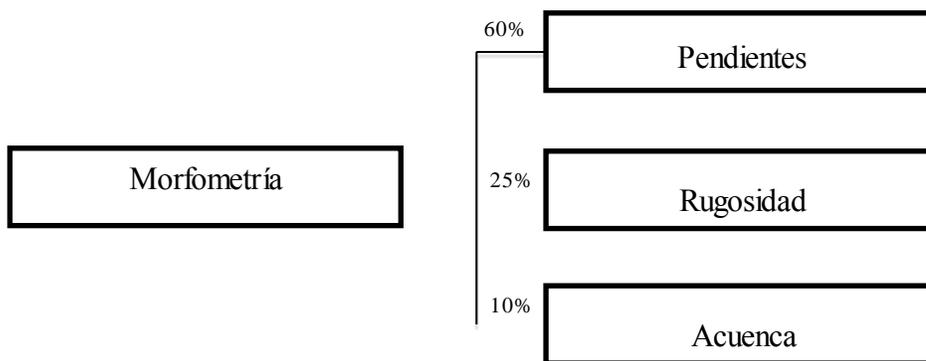


Diagrama de Atributos de la variable Morfométrica, con sus respectivos porcentajes.

$$Mm = Pe (60\%) + Ru (25\%) + Ac (10\%)$$

Dónde:  
Mm = Morfometría  
Pe = Pendientes  
Ru = Rugosidad  
Ac = Acuenca

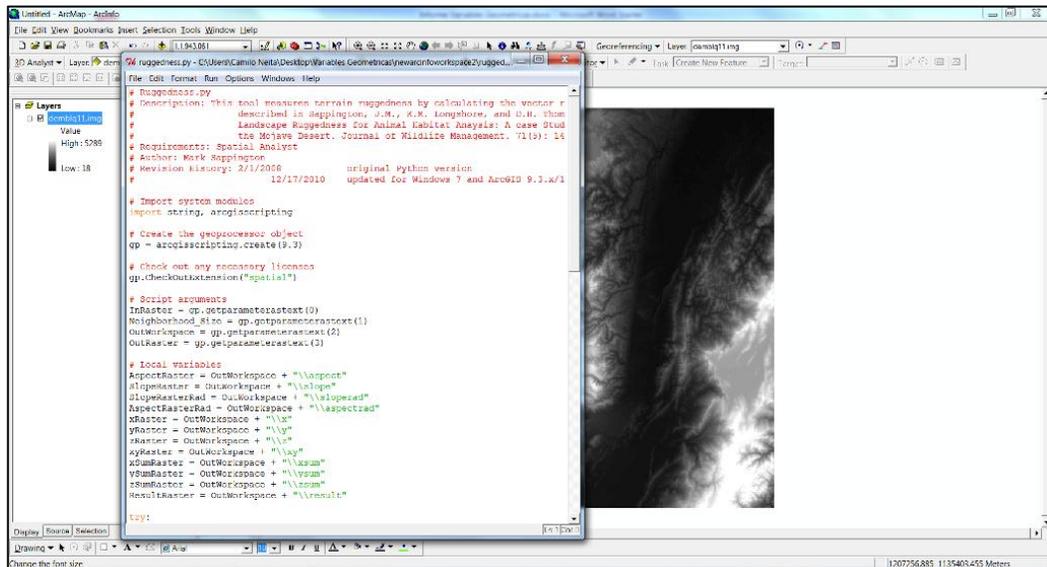
El mapa de pendientes, incluye valores entre 0 y 90 grados de inclinación de la superficie del terreno, con respecto a la horizontal, que se relacionan con el favorecimiento o no, de la generación de movimientos en masa; siendo más susceptibles las laderas con mayor inclinación. (Con valores de terrenos planos a inclinados, muy inclinados, abruptos o escarpados) (Ver Tabla 2).

Inclinación (Grados)	Descripción	Características del material y comportamiento
< 5	Plana a suavemente inclinada	Muy blanda y muy baja susceptibilidad a movimientos en masa (MM)
6 -10	Inclinada	Blanda y baja MM
11 - 15	Muy inclinada	Moderadamente blanda y moderada susceptibilidad a MM
16 - 20	Abrupta	Moderadamente resistente y moderada susceptibilidad a MM
20 - 30	Muy abrupta	Resistente y alta susceptibilidad a MM
31 - 45	Escarpada	Muy resistente y alta susceptibilidad a MM
> 45	Muy escarpada	Extremadamente resistente y baja susceptibilidad a MM

Tabla 2. Categorías de pendientes para la interpretación geomorfológica.

Por su parte, el mapa de Rugosidad del terreno (Ver Figura 7), se define como la variación de la pendiente, en un área diferenciada en el terreno y representa, la desviación del vector normal a la superficie de cada celda o polígonos con cambios de pendientes. Valores altos de Rugosidad, representa valores altos de susceptibilidad en la valoración final de la morfometría, favoreciendo la inestabilidad.

El desarrollo y cálculo del parámetro de rugosidad se realiza mediante procesamiento SIG, en el que se involucra el algoritmo especificado en el modelo metodológico de referencia dentro de un Script (parte de este script puede verse en la figura siguiente). El resultado del Script es sometido a una algebra de mapas mediante la herramienta Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator, para finalmente obtener la categorización del atributo rugosidad por medio de una reclasificación aplicada mediante la herramienta 3D Analyst Tools/Raster Reclass/Reclassify. La categorización del atributo de rugosidad se presenta en la Tabla 3.



Algoritmo utilizado para el cálculo del vector de rugosidad (Sappington, J.M., K.M. Longshore, and D.B. Thomson. 2007).

VALOR	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACIÓN
0.442439914 - 0.985	Rugosidad Muy baja o Nula	Muy Baja	1
0.985 - 0.99	Rugosidad Baja	Baja	2
0.99 - 0.995	Rugosidad Media	Media	3
0.995 - 0.9975	Rugosidad Alta	Alta	4
0.9975 - 1	Rugosidad Muy Alta	Muy Alta	5

Tabla 3. Valores de calificación del atributo rugosidad

Respecto al atributo Acuenca (Ver Figura 8), corresponde, a superficies diferenciadas en el interior de la cuenca y relacionadas con la capacidad de las mismas para recoger agua y favorecer su infiltración. A mayor Acuenca, mayor posibilidad de infiltración y por ende, mayor desestabilización. Su cálculo, relaciona, flujos acumulados con direcciones de flujo y tamaño de las celdas con interacciones en un DEM. Geomorfológicamente, los lomos o divisorias de aguas, representan una baja infiltración por lo que su susceptibilidad es baja en el atributo Acuenca, contrariamente, en las depresiones, representadas por cursos de agua, las cuales, se les asigna una muy alta susceptibilidad por Acuenca.

Para el cálculo de la variable Acuenca, se utiliza procesamiento SIG aplicado al modelo digital de elevación, en el cual se involucra la evaluación de las direcciones de flujo a favor de la pendiente (mediante la herramienta Spatial Analyst Tools/Hydrology/Flow Direction), las acumulaciones de las vertientes (mediante la herramienta Spatial Analyst Tools/Hydrology/Flow Accumulation), el resultado de este procesamiento se le aplica un algebra de mapas multiplicándolo

por el área mínima de análisis (Pixel); para finalmente realizar una reclasificación y establecer la estructuración de la variable acuenca. Los valores de reclasificación y categorización de este atributo se muestran en la Tabla 4.

VALOR	CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
0	1	Divisoria de Aguas o Lomos	Muy Baja
0 - 3500	2	Escorrentía Lenta	Baja
3500 - 40000	5	Flujo Acumulado	Muy Alta
40000 - 1000000	3	Drenaje no permanente	Media
1000000 - 1223633280	1	Quebradas, Ríos	Muy Baja

Tabla 4. Clasificación de la Susceptibilidad de Acuenca

Respecto a la erosión, que es considerado, un problema ambiental, debido al resultado del incremento poblacional, factores naturales o a las malas prácticas agrícolas que aceleran la erosión, por ello, es importante identificar las zonas que presentan en mayor intensidad este fenómeno y analizar su variación a lo largo de los últimos años. Es necesario aclarar que no todas las zonas sin cobertura vegetal corresponden al fenómeno de erosión, ya que también hacen parte las áreas urbanizadas, cuerpos de agua, vías y nubes. Por lo anterior la erosión será analizada en zonas que presenten degradación de suelo, las cuales fueron identificadas previamente en las imágenes satelitales.

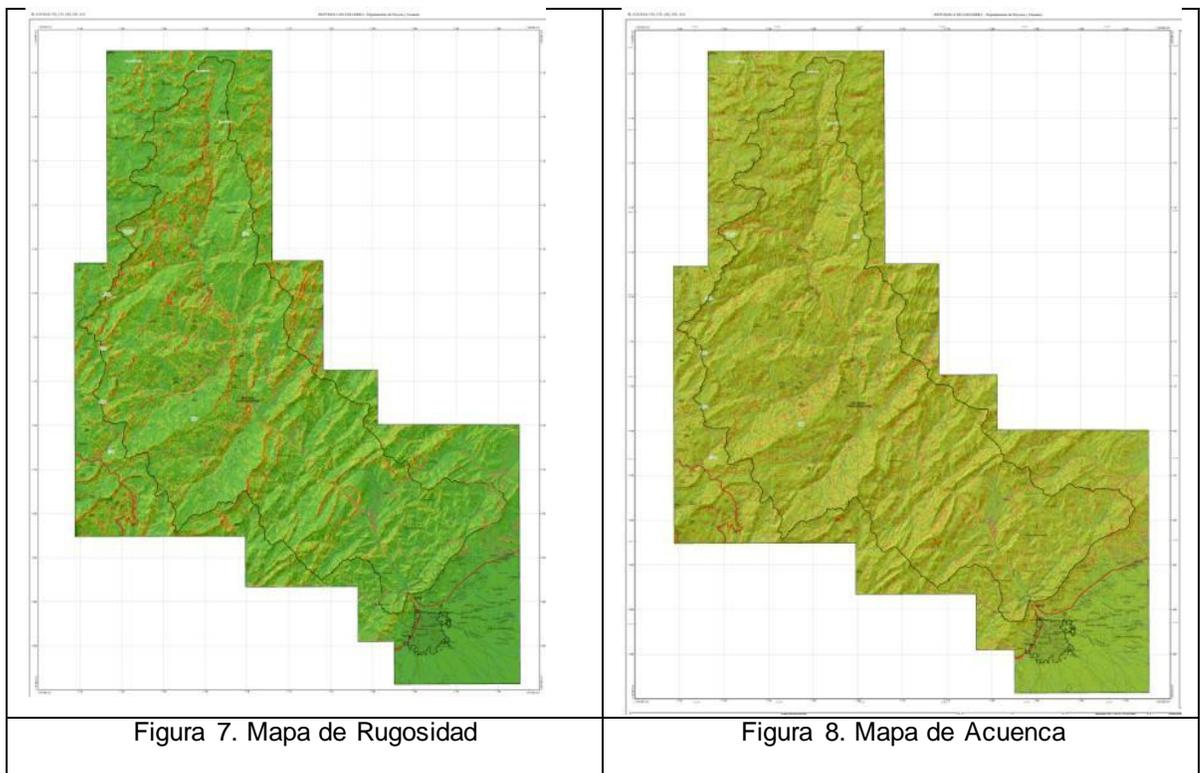


Figura 7. Mapa de Rugosidad

Figura 8. Mapa de Acuenca

Al evaluar los índices de vegetación con respecto a la cobertura vegetal es posible identificar y corroborar la tendencia en aumento de la vegetación a lo largo de la cuenca, pero se debe tener en cuenta que este aumento de vegetación no está necesariamente ligado a disminución de erosión, ya que el análisis de la erosión se debe realizar en zonas específicas con el fin de observar su evolución y poder determinar su génesis.

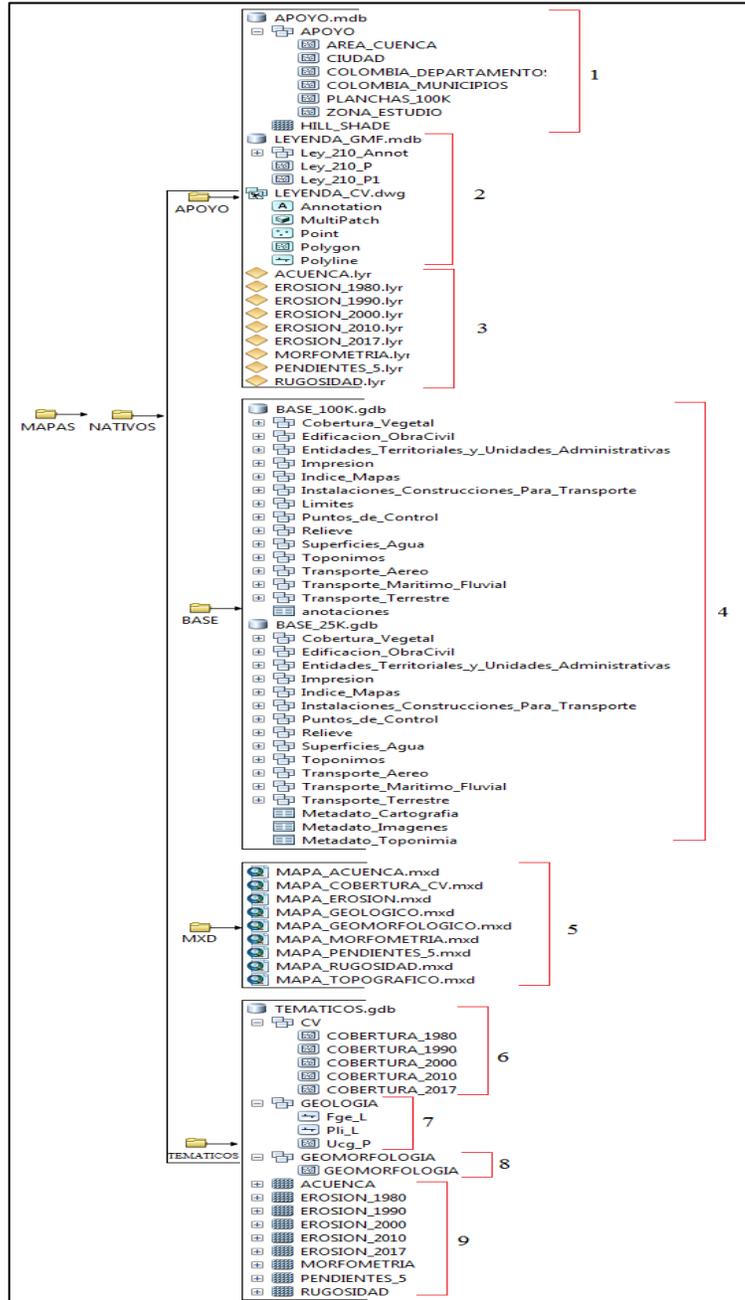
Por lo tanto así halla una tendencia de aumento de vegetación en la cuenca, existen zonas específicas en donde se observan aumento en los procesos erosivos, ya sea por acción del hombre o de la naturaleza.

La organización de la información en estructura SIG, es el paso final de este trabajo, ya que este tipo de geodatabase, no sólo facilita el acceso y la manipulación de la información debido a su formato (SHP), sino que permite cualquier otro tipo de análisis espacial que cada Corporación Autonomía Regional, necesite, sino que los entes gubernamentales de Boyacá, pueden, en base a esta estructura, realizar actualizaciones, ediciones y adiciones de nuevas delimitaciones que aparezcan, como puede ser, nuevos deslizamientos, ampliación de cascos urbanos o inclusión de veredas o municipios vecinos a la cuenca del río Cravo Sur, pero que no hacen parte del área de estudio.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 ESTRUCTURA DEL SIG

La estructura del SIG, se muestra en la figura a continuación, además del contenido de cada carpeta (Ver Anexo N).



## **CARPETA APOYO**

### **Apoyo .Mdb**

Esta carpeta, almacena un Dataset llamado APOYO, el cual contiene los Shapes (.shp) utilizados en los índices de localización y orígenes cartográficos de los mapas (.mxd). Además se encuentran la zona de estudio, área de la cuenca y casco urbano del municipio de Yopal, en formatos (.shp). Acompañando el Dataset llamado APOYO, se almacena un documento tipo Raster llamado HILL\_SHADE, que corresponde al mapa de sombras obtenido del DEM con resolución de 12.5 m, el cual se utilizó como apoyo de visualización en los mapas resultantes.

### **Leyendas**

En la carpeta APOYO se guardaron las leyendas utilizadas en los mapas de geomorfología y cobertura vegetal (.mxd).

El archivo LEYENDA\_GMF (.mdb), corresponde a la leyenda geomorfológica, la cual se compone de Shapes (.Shp) tipo polígono y anotación.

El archivo LEYENDA\_CV (.DWG), corresponde a la leyenda de cobertura vegetal, la cual se compone de Shapes (.Shp) tipo polígono y anotación.

### **Layers file (.Lyr)**

En la carpeta de APOYO existen archivos (.lyr), se crearon con el fin de guardar la simbología de los anexos que sean tipo Raster, como la erosión, Acuenca, morfometría, pendientes y rugosidad.

## **CARPETA BASE**

La carpeta BASE, contiene Geodatabases (.gdb), las cuales almacenan las bases cartográficas completas de la zona de estudio que fueron utilizadas en los mapas resultantes.

El archivo BASE\_100K (.gdb) corresponde a la base cartográfica completa a escala 1:100.000 del IGAC, recortada a la zona de estudio.

El archivo BASE\_25K (.gdb) corresponde a la base cartográfica completa a escala 1:25.000 del IGAC, recortada a la zona de estudio.

## **CARPETA MXD**

Los Archivos mxd contienen los mapas finales con sus respectivos formatos, leyendas, simbologías, convenciones, localizaciones, información y los archivos que componen el mapa. Siempre que se guarda un mapa, creado en ArcMap, se generará un archivo de tipo mxd.

## **CARPETA TEMATICOS**

### **Cobertura Vegetal**

En el Dataset llamado CV se encuentran los shapes (.shp) de la cobertura vegetal para los años 1980, 1990, 2000, 2010, 2017. Estos cuentan con un sistema de coordenadas MAGNA\_Colombia\_Bogota. Además tiene un RuleID el cual mantiene la simbología del shape.

### **Geología**

En el Dataset llamado GEOLOGIA se encuentran los shapes (.shp) de fallas (Fge\_L), pliegues (Pli\_L) y formaciones geológicas (Ucg\_P) de la zona de estudio. Los Shapes cuentan con un sistema de coordenadas MAGNA\_Colombia\_Bogota. Además tiene un RuleID el cual mantiene la simbología del shape.

### **Geomorfología**

En el Dataset llamado GEOMORFOLOGÍA se encuentran el (.shp) de la geomorfogénesis de la zona de estudio. Estos cuentan con un sistema de coordenadas MAGNA\_Colombia\_Bogota. Además tiene un RuleID el cual mantiene la simbología del shape.

### **Archivos Raster**

Dentro de la Geodatabase TEMATICOS están guardados los anexos tipo Raster, como son:

- Erosión para los años 1980, 1990, 2000, 2010 y 2017.
- Morfometría del área de estudio.
- Pendientes en 5 clases para el área de estudio.
- Rugosidad del área de estudio.

## **6.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS**

El río Cravo Sur, tiene sus nacimientos, en las estribaciones del páramo de Pisba, representado geológicamente, por rocas sedimentarias del cretáceo inferior, entre las cuales se resaltan, la Formación Une y la Formación Tibu-Mercedes, conformando, los picos de mayor altitud, tales como; Matarredonda, San Ignacio y Farasí. La disposición estructural de las rocas en este sector de la cordillera oriental es de orientación preferencial noreste, que se constituye en barras, cortadas casi-perpendicularmente por el curso del río, principalmente, en el tramo entre Labranzagrande y Yopal, donde el curso del río, toma una dirección sureste.

Ya en la parte media-baja de la cuenca en proximidades de Yopal, se encuentran rocas terciarias con la misma disposición estructural que las anteriores, algunas de

ellas en contacto fallado, por sobre-corrimientos entre los cuales se destacan, las fallas de Tamara y Guaicaramo. Esta geología condiciona, un ambiente geomorfológico predominantemente estructural.

De igual manera, desde aproximadamente, los 2000 metros de altitud, hacia aguas abajo, es común encontrar depósitos aluviales, terrazas aluviales, conos y abanicos laterales entre los cuales se resalta, el de Labranzagrande, el cual, su parte apical, se encuentra en los cerros de La Vieja y El Oso, de donde se ha desprendido materiales que han conformado el abanico que coincide distalmente con el curso del río Cravo Sur. Es de anotar que en el sector suroeste del abanico, se localiza la cabecera municipal de Labranzagrande. Entre los pulsos recientes de aporte de materiales, de este abanico en construcción se resaltan los eventos ocurridos en 1938, en el cual los materiales alcanzaron la cabecera municipal y trajeron consigo desde ese entonces, modificaciones en la red de drenaje. Otros eventos importantes fueron los ocurridos en 1954 y 1992. (Ver Anexo A y Anexo B)

La evolución geomorfología del abanico aluvial característico del Sector Labranzagrande, se evidencia en un aumento del área de cobertura del mismo, tanto en la parte apical (alta) y basal (baja), ésta última extendiéndose a lo largo de los flancos del cauce del río, debido al constante aporte de sedimentos durante los últimos años. El abanico en 1985 contaba con una extensión de 4.79 km<sup>2</sup>, mientras que actualmente ha tenido un crecimiento de 1.72 km<sup>2</sup> contando con una extensión total de 6.51 km<sup>2</sup>, su tasa de crecimiento entre 1985 y 2015 corresponde a un 26.2 %.

Para 1985 el cauce principal, contaba con la presencia de numerosas islas y barras de arena que frecuentemente ramificaban el canal principal en 2 o 3 brazos secundarios; presentando una continua dinámica fluvial sinusoidal, característica de ríos meándricos. Para el año 2015, el río presenta en su cauce una dinámica, en la cual se denota un aumento continuo y variado de islas y barras de arena que disectan el cauce principal en ramificaciones sinusoidales y que generan múltiples puntos de socavación y depositación de material de arrastre, producto de aumentos de caudal y normalización de la pendiente por procesos de erosión, transporte y acumulación de sedimentos.

Al superponer las capas digitalizadas de los cauces estudiados, la dinámica el río Cravo sur en el sector Labranzagrande para la ventana de estudio (Ver Figura 9 y Figura 10, presenta una morfología de río meándrico maduro, con pendiente regular, corrientes caudalosas, en el que predominan procesos de erosión y acumulación horizontales, generando ensanchamiento de su cauce y aumento del volumen de material transportado. Estos procesos, se ven reflejados en el aumento de la cantidad, forma y tamaño de las barras de arena y los cambios de sinuosidad presentes desde 1985 al 2015; bajo estos cambios en la dinámica del cauce se observa que la sinuosidad se ha incrementado, manteniendo un proceso de continua evolución de río meándrico a río trenzado.



alejarse, para el año 2011 el cauce del río empezó a acercarse continuando con esta tendencia hasta el 2016.

Para los años 1954 y 1992 el cauce del río se fue alejando paulatinamente del margen derecho acumulando sedimentos. Para el año 2004 el cauce se habría alejado casi el doble de la distancia de los años anteriores, el depósito presenta gran cantidad de vegetación. Para el año 2007, se observan algunas construcciones realizadas sobre el depósito de sedimentos abandonados por el río Cravo Sur, en el año 2011 y en el año 2016, se realizan obras de mitigación; como canalización de agua y muros de contención, con el fin de controlar el cauce del agua y la acumulación de sedimentos, a pesar de esto, en épocas de alta precipitación, el río Cravo Sur, recuperará su cauce natural generando inundaciones en el depósito cuaternario, y por lo tanto, en las zonas aledañas construidas.

Los momentos de inestabilidad que han ocurrido en la cuenca asociados a “crisis morfogénicas” principalmente ligadas a periodos húmedos, se han excedido umbrales de tensión o resistencia en el sistema, que han detonado movimientos en masa en “umbrales geomórficos” representados principalmente por conos y abanicos terraza laterales al cauce del río y sus laderas de naturaleza arcillosa, localizadas en la parte alta de la cuenca (área de aporte). Justamente, Labranzagrande está ubicada en esta zona de la cuenca, sobre un abanico lateral, que sucesivamente en el pasado, ha constituido barreras en el cauce, dando lugar a represamientos y destaponamientos, que han influido en la dinámica del río hacia aguas abajo, hasta su salida a la llanura en el piedemonte, donde se ubica Yopal. Entre Labranzagrande y Yopal, distantes 30 kilómetros a lo largo del cauce principal, en lo que técnicamente se puede definir como zona de transferencia del río (área de transporte), se presentan estrechamientos del valle del río, conformados por espesos estratos rocosos (principalmente arenosos) de las formaciones geológicas cretáceas y terciarias cortadas perpendicularmente por el río. Lo anterior permite ligar procesos de avulsión en el abanico de Yopal, con crisis morfogénicas acaecidas en la cuenca media, y represamientos desde el mismo abanico de Labranzagrande y barreras estructurales localizadas entre las dos poblaciones.

Para el caso de la dinámica fluvial y socavación del río Cravo Sur en la salida a la llanura, el cauce del río se ha recargado hacia el límite norte del abanico, presentando un viraje en la dirección de cauce de SW a NE, con aportes de sedimentos en suspensión y carga de fondo, incrementados en los periodos húmedos, independientemente de la ocurrencia de crisis morfogénicas en la parte montañosa. En el margen izquierdo del río en el abanico de Yopal, se ubica la ciudad de Yopal, que desde su fundación ha tenido una constante disputa con la dinámica natural del río, acosándolo hacia la parte norte del abanico, mientras que éste ha tratado de recuperar la disección frontal del abanico.

La Figura 13 (Anexo C), muestra el mapa geomorfológico, en el cual se diferencian los ambientes estructurales, fluvial o lagunar, glacial y peri-glacial, con algunos sectores de unidades denudacionales. Las unidades de mayor porcentaje de la cuenca son de ambiente estructural, que incluye geoformas que se origina por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra asociados a los plegamientos y fallamientos de las rocas, cuya expresión morfológica está definida por la variación de resistencia de las unidades rocosas, desde formaciones compuestas por litología arenosas y calcáreas y formaciones blandas de composición arcillosa, mostrando polígonos con dirección SW-NE.

Las unidades del ambiente glacial o peri-glacial, se ubican en la parte norte de la cuenca, hasta sectores aledaños a la salina de Gameza, las unidades de fluvial o lagunar, se encuentran asociadas a terrazas, conos-terrazza o valles fluviales del cauce principal del río Cravo Sur. Es de resaltar, las dos unidades sobre las cuales se asientan las cabeceras municipales (Labranzagrande y Yopal) corresponden a abanicos aluviales con laderas cóncavas a convexas de morfología de baja pendiente, originadas por la acumulación torrencial o fluvial en forma radial, la primera como depósito lateral al río Cravo Sur y la segunda localizada en la salida del río Cravo Sur, de la parte montañosa hacia la llanura. En ambos casos, antes de perturbarse antrópicamente la dinámica hídrica, sus drenajes correspondían con disecciones radiales cortando el abanico.

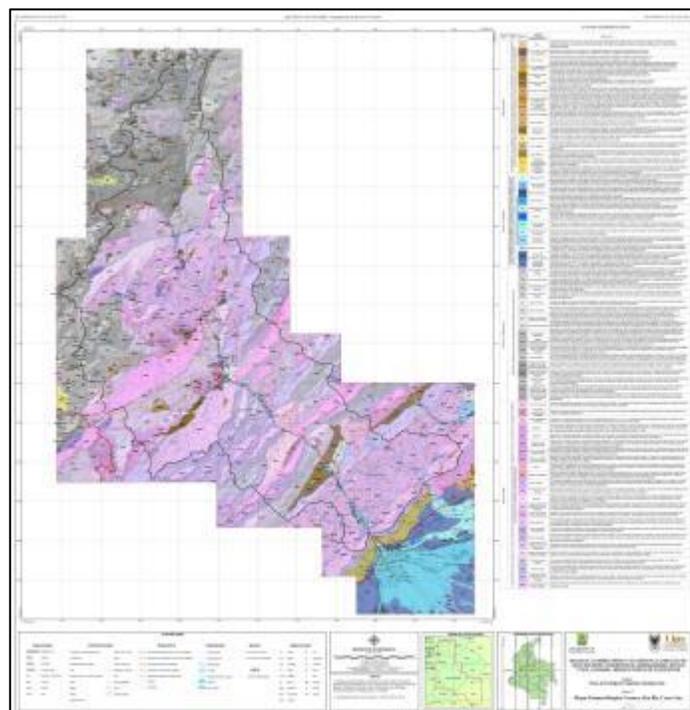


Figura 13. Mapa geomorfológico

### 6.3 EVALUACIÓN DE COBERTURA

Como evaluación final de la cobertura vegetal, se interpretaron mapas de los años 1980, 1990, 2000, 2010 y 2017, debido a que en años anteriores, no se obtuvo información de las zonas objeto de este trabajo. (Ver Figura 14 y Figura 15). (Ver Mapas en escala Real en Anexos D,F,G y H). Para el área de páramo, no se observan cambios significativos en el tiempo, sin embargo, en zonas ocupadas por bosque alto-andino, se observa progresivamente, procesos de deforestación, para pastizales de reemplazo. De igual manera en sectores aledaños a Labranzagrande, se han acrecentado, procesos de deforestación, ligados a la apertura de nuevos carretables en varios sectores de la cuenca. En el sector comprendido entre Los Yopos y La quebrada Almorzadereña, en límites departamentales entre Boyacá y Casanare, no hay cambios significativos en la cobertura vegetal, en razón a que son zonas encañonadas de alta pendiente, sin embargo, hay existen áreas denudadas aledañas a la carretera en construcción en el margen del río Cravo Sur.

Respecto a las cabeceras municipales, no se evidencia en Labranzagrande, aumento significativo de esta área urbana, de lo contrario, en el municipio de Yopal, a través de los años, ha aumentado la cobertura urbana y consolidada la densidad de construcción en la zona de baldíos, hacia el lecho del río. (Muy a pesar de las recomendaciones de expansión del municipio hacia la parte distal, UPTC, 2007).

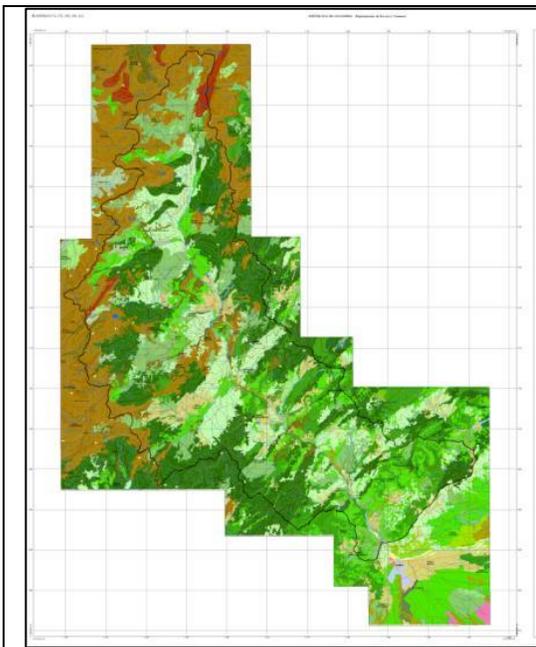


Figura 14. Mapa de cobertura, Año 1980

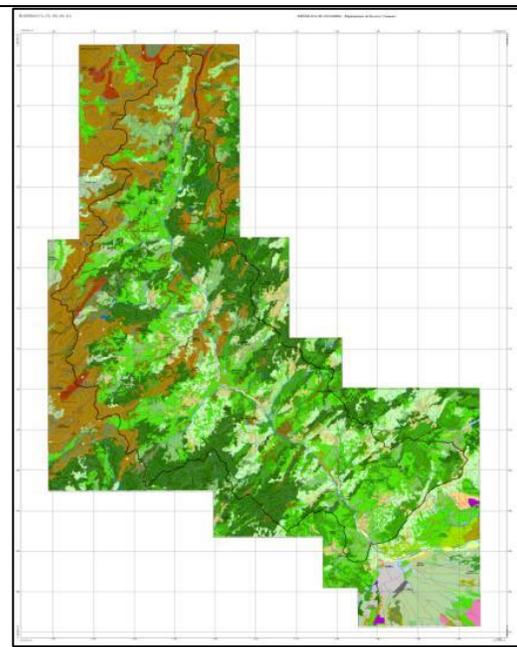
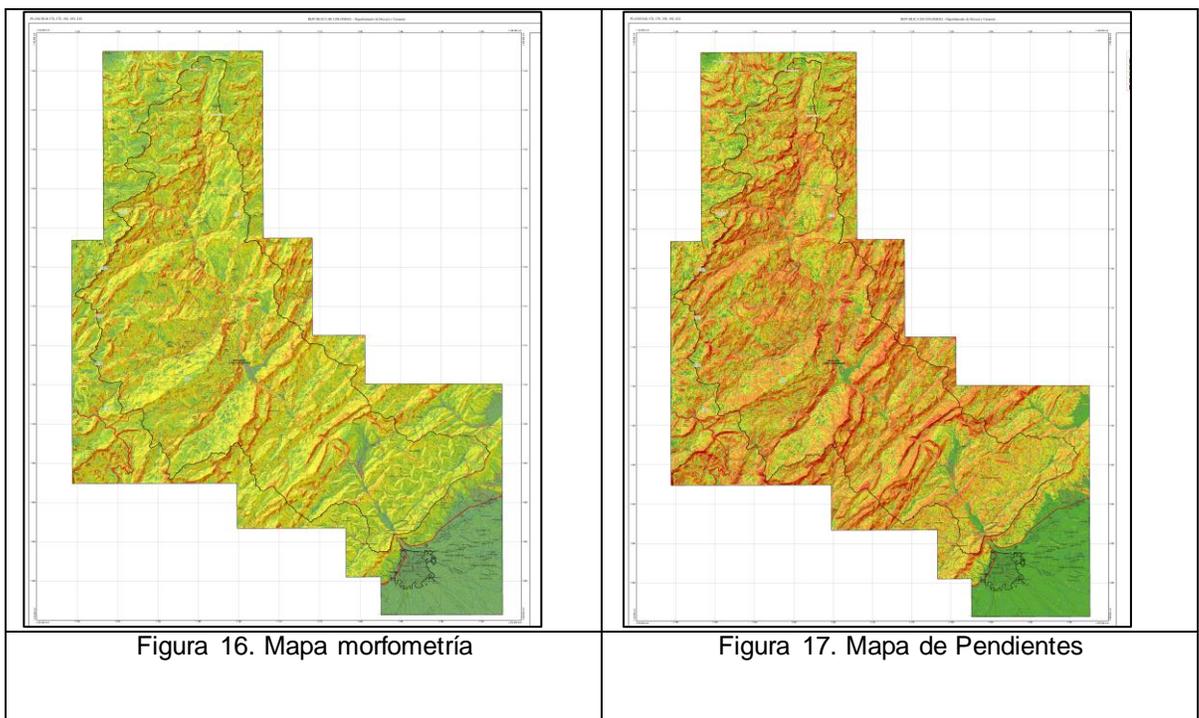


Figura 15. Mapa de cobertura, Año 2017

## 6.4 ASPECTOS MORFOMÉTRICOS

El mapa de susceptibilidad por morfometría, muestra valores altos alineados, en sectores rocosos del margen izquierdo de la cuenca del río Cravo Sur, en su sector alto, desde el páramo del Cadillal, continuando con esta tendencia en todo el sector occidental de la cuenca hasta la salina de Gameza. Estos valores igualmente se observan asociados a la contrapendiente estructural en los sectores aledaños a Labranzagrande, el corregimiento del Morro y el cerro El Vando, en proximidades a Yopal (Ver Figura 16 y Figura 17). (Ver Anexo I y Anexo L).



En contraposición, los valores bajos coinciden con sectores de baja pendiente, llanuras aluviales y los abanicos fluvio-torrenciales.

Por su parte, el mapa de pendientes, muestra, valores de susceptibilidad alta asociados a escarpes rocosos del valle superior de la cuenca y en las contrapendientes claramente diferenciables con orientación SW-NE, que son cortadas por el cauce principal del río Cravo Sur, disminuyendo su categoría en materiales asociados a formaciones arcillosas y en geformas de origen fluvial y aluvio-torrencial.

## 6.5 ASPECTOS EROSIVOS Y DE ESTABILIDAD

La erosión se evalúa con mapas sobre imágenes desde 1980, 1990, 2000, 2010 y 2017, ya que de años anteriores no se encuentran suficientes insumos en calidad y cantidad para el área objeto.

La erosión producida por el efecto de la gravedad, por medio del transporte de bloques o granos en laderas de montaña, se evidencia en las zonas de mayor altura, con poca cobertura vegetal y afloramientos rocosos. Se puede observar aumento en la erosión causado por la gravedad en estas áreas, ya que este tipo de coberturas presenta una tendencia creciente en la tasa de erosión desde el año 1980 hasta el 2017 (Ver Figura 18 y Figura 19).

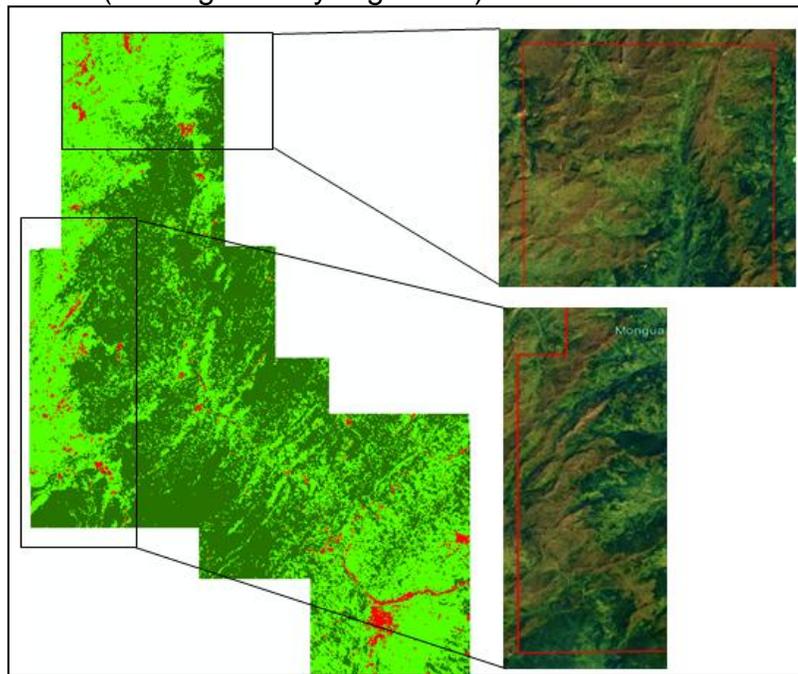


Figura 18. Analisis de Erosión gravitacional (Mapa Vs Google Earth)

La erosión Fluvial, se presenta en la orilla del río Cravo Sur y en los drenajes principales por la fricción constante del flujo del agua. Como resultado por el constante flujo de agua, se genera un crecimiento de su cauce, acompañado de una variación en la superficie del canal. A lo largo del cauce principal del río Cravo Sur, se observan, sectores de intensa erosión, que se evidencia en el aumento del ancho en el tamaño del canal, principalmente en las zonas donde el río incrementa su caudal por la influencia de las quebradas que desembocan en éste.

El río Cravo sur además de erosionar las márgenes y ensanchar el canal por acción del agua, ha depositado sedimentos en forma de barras longitudinales y puntuales así como meandros abandonados. Estas acumulaciones son inundadas y remodeladas en épocas de aumento en el caudal del río.

Las zonas más representativas son el sector del casco urbano de Yopal y de Labranzagrande, donde se ha presentado socavación constante del río Cravo sur, esto ha sido motivo de diferentes obras de mitigación que no han lo suficientemente eficaces para el control de este fenómeno (Ver Figura 20).

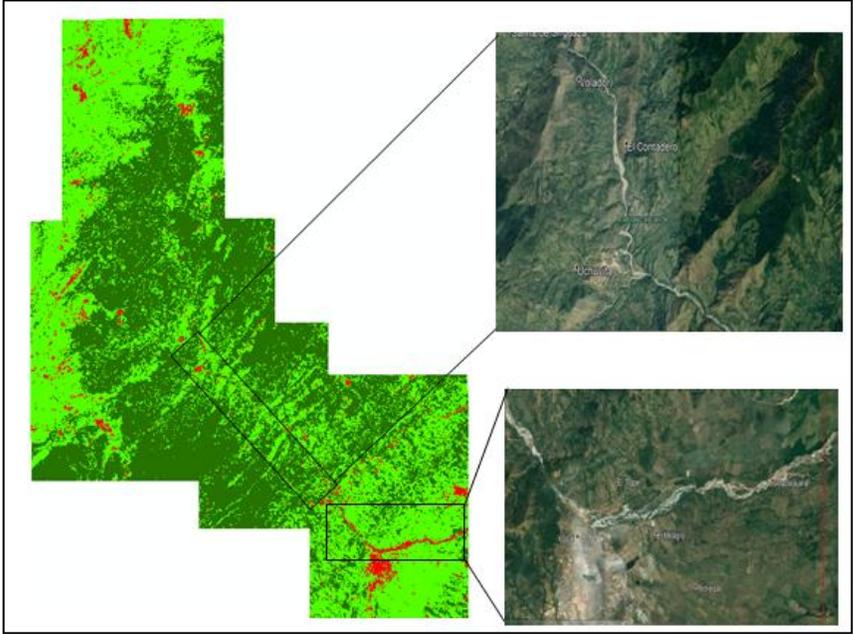


Figura 19. Analisis de Erosion Fluvial

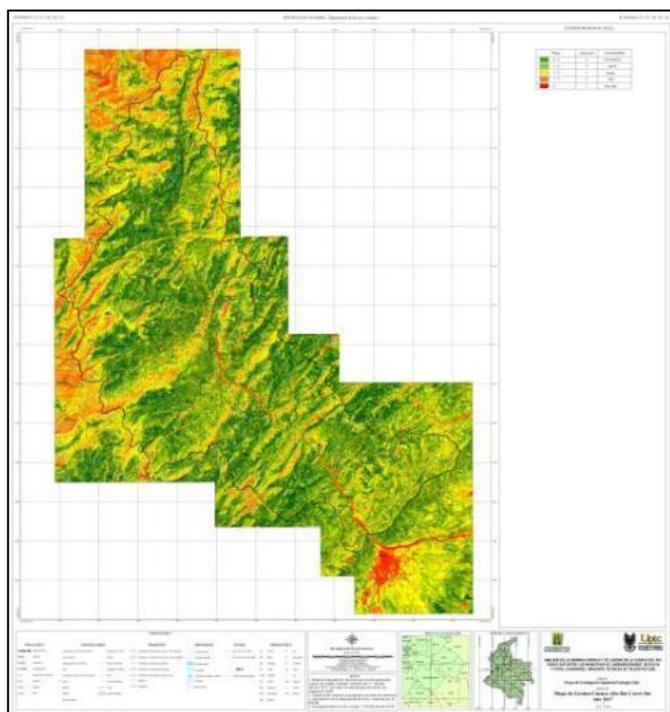


Figura 20. Mapa de Erosión, Año 2017

En los años evaluados, se evidencia gran cantidad de erosión en la parte alta de la cuenca (páramo de Pisba) (Ver Figura 20), explicable por ser una zona rocosa con vegetación litofítica y escasos rodales de vegetación paramuna. De igual manera, se muestra presencia de erosión, en la parte alta del abanico de Labranzagrande (sector La Playa) en zonas aledañas a los Yopos y en las zonas de ampliación de la carretera hacia el Morro. En todo el sector, de arcillolitas terciarias, desde el Morro hasta Yopal, se evidencia erosión alta. A través de los años, se mantienen los patrones de erosión descritos anteriormente, incrementándose en los sectores aledaños a la quebrada Almorzadereña y en zonas de inestabilidad alta de las veredas Guayabal y los Yopos, del municipio de Labranzagrande. Para el año 2017, se muestra una reducción de la erosión en los sectores arcillosos entre el Morro y Yopal, y un aumento en el abanico de Yopal.

En relación a la inestabilidad del terreno, en los periodos lluviosos de los años evaluados, se detonan movimientos en masa, en sectores cercanos a la salina de Mongua y Siraguazá, parte alta del abanico de Labranzagrande, sector de Rionegro y Los Yopos. De igual manera, se incrementa la inestabilidad año tras año en el margen derecho del río Cravo Sur, frente al abanico de Labranzagrande, favorecido por el acoso del río y la construcción de carreteras hacia las veredas de Ochica y Uzazá.

## 7. CONCLUSIONES

- La datos organizados en una geodatabase permiten observar las evidencias de represamientos y procesos de avulsión sobre el abanico en construcción de Yopal, lo que conlleva a un riesgo alto para los asentamientos ubicados en el sector, debido a una alta torrencialidad del rio Cravo Sur, desde su nacimiento, hasta la salida en el piedemonte llanero
- Los procesos antrópicos al interior de la cuenca, están detonando, inestabilidad y erosión en sectores localizados de la misma, sumados a la dinámica natural asociada a los procesos propios del rio. Estos procesos antrópicos, pueden actualizarse en la estructura SIG, ya que este tipo de almacenamiento, permite realizar todo tipo de análisis, que considere conveniente las organizaciones que hacen parte de este convenio inter-administrativo.
- En el intervalo de tiempo evaluado, se observa poco crecimiento en la parte urbana de Labranzagrande en contraste con un alto crecimiento de la parte urbana del municipio de Yopal, incrementándose el riesgo considerablemente en este último.
- A pesar, de los factores de riesgo, para las dos poblaciones ubicadas en la cuenca, no se observa en los años evaluados, la implementación de ninguna medida correctiva de fondo (como estructuras de contención de flujos torrenciales) para la mitigación del riesgo.
- Esta geodatabase, representa un almacenamiento físico de la información geográfica, pero no sólo organiza los datos, sino que relaciona el comportamiento de los mismos, dando una mejor visión del riesgo de las poblaciones de Labranzagrande y Yopal y acercando a los actores (tomadores de decisiones) de la gestión del riego en Boyacá y Casanare a la realidad de esta Cuenca del rio Cravo Sur.
- Los sistemas de información geográfica, organizan y centralizan la información, facilitando el uso, administración y replica de los datos y el manejo de la escala, es decir, que la organización de los resultados del estudio de la cuenca, permite a los profesionales de la CAR, el manejo de los datos y la actualización de los atributos, de las poblaciones relacionadas con el área de trabajo, ya que esta estructura de los datos de la Cuenca, no sólo resalta el análisis geográfico, sino que muestra la información por medio de resultados cartográficos.

## 8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la inclusión de la geodatabase en las entidades gubernamentales, en una plataforma multiusuario, que permita realizar la inclusión del análisis de otros municipios, delimitaciones de otras áreas sensibles, cambios o mejoramiento de los atributos de las capas y seguimiento de los mismos, a fin de que esta alimentación, sea verificada permanentemente.
- Se recomienda la distribución de esta estructura a las Corporaciones Autónomas Regánales de Boyacá, Cundinamarca y Casanare, para que las personas encargadas, utilicen esta herramienta ya elaborada, igual de los demás productos de este grupo de investigación, para que sea aprovechada en las regiones por los profesionales que conocedores de cada zona.
- Se recomienda la implementación de medidas de conservación y de recuperación de ecosistemas, al interior de toda la cuenca del río Cravo Sur, para corregir los sectores de erosión y de áreas inestables.
- Se recomienda la construcción de diques para control de erosión en quebradas con alta inestabilidad, igual que diques para retención de sedimentos y flujos torrenciales para el cauce principal, con el fin de evitar y reducir, el represamiento, por aumento del aporte de sedimentos en el cauce principal del río. Cualquier estructura construida para estabilidad del río, debe tener estudios hidráulicos a fin de evitar posibles impactos en otros sectores del mismo, que agudicen la problemática de la dinámica hídrica.
- Se debe recuperar los drenajes naturales radiales, al interior de los abanicos aluviales de Labranzagrande y Yopal, con el fin de encauzar posibles flujos torrenciales.
- Es importante que además de todos los trabajos de construcción, tener en cuenta la vulnerabilidad social de las comunidades asociadas a los problemas de la cuenca del río Cravo Sur.

## BIBLIOGRAFÍA

Casanare, G. d., Corpoorinoquia, Corpoboyaca, & Enviromental, I. *Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del rio Cravo Sur*. Tunja.

Chaves, E. (1938). *Deslizamientos en Labranzagrande, departamento de Boyaca*. Bogota: Servicio Geologico Nacional.

Colombiano, S. G. (2013). *Documento Metodológico De La Zonificación De Susceptibilidad Y Amenaza Por Movimientos En Masa Escala 1:100.000*.

Devia, C. Y. (2010). Cambios Espaciales y su Influencia en la Configuración Territorial de Aguazul y Tauramena 1974-2005. *Perspectiva geografica* , 177-200.

Diaz, A. (2013). *Uso De Sistemas De Informacion Geografica Sig Para Análisis De Procesos De Remoción En Masa Dentro De Zonas De Alta Vulnerabilidad, Sector Ciudad Bolívar, Bogotá*. Recuperado el 04 de mayo de 2017, de <http://repository.ucatolica.edu.co/>

Edrosa, R. M. (Noviembre de 2011). *Aplicación de Teledetección para el Monitoreo de Eventos Hídricos Superficiales Mediante Imagenes Cosmo SKYMED*. Recuperado el 04 de Mayo de 2017, de <http://www.famaf.unc.edu.ar/wp-content/uploads/2016/02/7-Gulich-Edrosa-1.pdf>

Fonseca, H. (2010). *Conferencia. El entorno natural del Piedemonte LLanero*. Yopal.

Huang, H., Roy, D., & Boschetti, L. (2016). Separability Analysis of Sentinel-2A Multi-Spectral Instrument (MSI) Data for Burned Area Discrimination. *Remote Sensing* , 1-18.

IGAC. (1984). *Manual de Percepción Remota*. Bogota.

Leyva, T. (2011). *Metodología para la Identificación y Deteminación de Geoformas y Sus Principales Variaciones Temporales Mediante el Uso de Sensores Remotos. Caso Serivitá*. Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/6682/1/194680.2011.pdf>

Naciones Unidas, (2009). *Estrategia internacional para la reducción de Desastres. Terminología sobre Reducción del Riesgo*.

McKean J, R. (2004). *Objective Landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry*, *Geomorphology*.

Mendoza, H. (1981). *Factores Geologicos involucrados en los deslizamientos de alto Yopal*. Bogota: Ingeominas.

Moncada, O. A. (2014). *Detección de Movimientos en Masa a Escala Regional Empleando Imagenes de Sensor MODIS*. Recuperado el 04 de Mayo de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/46223/1/201210595.2015.pdf>

Nacional, A. d. (2017). *Que hace vulnerables a los municipios del Piedemonte?, Yopal bajo amenaza de Avalancha?* Bogota.

Ordoñez, A., & Juan, S. (2015). *Analisis superficial y Multitemporal de Imagenes Landsat7 ETM+ y Landsat8 OLI TIRS en el proyecto Carbonifero La Luna entre los años 2001-2015*. Manizales.

Padilla, J. (1992). *Reconocimiento Geologico Municipio de Labranzagrande (Boyaca)*. Bogota: Ingeominas.

Robertson, K., & Nacional, U. (2007). Morfotectónica y Dataciones de Fallamiento Activo del Piedemonte Llanero, Colombia, Sudamerica. *Cuadernos de geografía* , 109-120.

Rodriguez, J. A. (Enero de 2016). *Estudio de Movimientos en Masa en las Antiguas Zonas Urbana y de Expansión en el Municipio de Gramalote (Norte de Santander) a través de un Analisis Multi-temporal Geomorfológico*. Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/7445/1/RodriguezAndradeJaimeAdrian2016.pdf>

Sassa Et all, K. S. (2007). *Progress in landslide Science*. Tokio: Springer.

Servicio Geológico Colombiano, (2016) *Guia Metodologica, para estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Mvimientos en Masa*.

Servicio Geológico Colombiano, (2013) *Documento Metodológico De La Zonificación De Susceptibilidad Y Amenaza Por Movimientos En Masa Escala 1:100.000*

Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Numero 4 (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina, Una guia para la Evaluación de Amenazas*.

Suarez, J. (s.f.). Investigación de Deslizamientos, Capitulo 11. *Deslizamientos: Analisis Geotecnico* , 439-494, Capitulo 11.

UPTC, C., & Boyacá, G. d. (2015). *Estado del arte. Investigación aplicada a la modelación del territorio a partir del análisis geomorfológico del departamento de boyacá*. Tunja.

UPTC, C., & Yopal, A. d. (2008). *Evaluación Preliminar de la zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa y flujos torrenciales En la cabecera municipal de Yopal, Aplicando un SIG*. Yopal.

Van Der Hammen, T. (1954). *Los Deslizamientos en el municipio de Labranzagrande (BOY)*. Bogota: Instituto Geologico Nacional.

Varnes, D. (1978). Slope movements types and processes,. *Transportation Research Board Special Report 176* , 9-33.

Yopal, A. d., & Casanare, G. (2003). *Convenio para la revisión y ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial*. Yopal.