

**APLICACIÓN DE PRODUCTOS DE SENSORES REMOTOS Y SIG EN LA
GENERACIÓN DE MAPAS GEOMORFOLÓGICOS**

VIVIANA SÁNCHEZ OSORIO



**UNIVERSIDAD DE
MANIZALES**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016**

**APLICACIÓN DE PRODUCTOS DE SENSORES REMOTOS Y SIG EN LA
GENERACIÓN DE MAPAS GEOMORFOLÓGICOS**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en
Sistemas de Información Geográfica**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016**

CONTENIDO

1. RESUMEN.....	7
2. ABSTRACT.....	8
3. INTRODUCCIÓN.....	9
4. JUSTIFICACIÓN.....	10
5. ÁREA PROBLEMÁTICA.....	11
6. OBJETIVOS.....	12
7. LOCALIZACIÓN.....	13
8. MARCO TEÓRICO.....	16
9. METODOLOGÍA.....	23
10. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	28
11. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	32
12. CONCLUSIONES.....	61
13. RECOMENDACIONES.....	62
14. BIBLIOGRAFÍA.....	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Lista de información básica seleccionada para ambas áreas.....	33
Tabla 2 Atributos feature class GEOMORFOLOGIA_AREA_1.....	38
Tabla 3 Atributos objetos raster	39
Tabla 4 Descripción de los dominios de la Geodatabase AREA_1	39
Tabla 5 Rangos de Pendiente para su reclasificación	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del área 1.....	14
Figura 2. Figura. Mapa de localización del área 2.	15
Figura 3. Codificación de una variable cuantitativa en formato raster	17
Figura 4. Diagrama de pasos metodológicos para la realización de mapas geomorfológicos.....	24
Figura 5. Barra de herramienta de 3D Analyst.....	26
Figura 6. Mapa delimitación del área 1	29
Figura 7. Mapa delimitación área 2.	31
Figura 8. Feature class de cartografía básica seleccionados para ambas áreas de trabajo.	32
Figura 9. Primer paso para el corte del DEM	34
Figura 10. Ventana saliente para el recorte del DEM	35
<i>Figura 11. Ventana de salida de las opciones para reproyectar el corte del DEM</i>	<i>36</i>
<i>Figura 12. Sistema de coordenadas para Feature Dataset AREA_TRABAJO_1</i>	<i>37</i>
Figura 13. Sistema de coordenadas para Feature Dataset AREA_TRABAJO_2	38
<i>Figura 14 Opciones para crear el modelo de sombras con la herramienta Hillshade....</i>	<i>41</i>
Figura 15. Ejemplo del uso del modelo de sombras área 1; a) geología con 0% de transparencia; b) modelo de sombra; c) geología con 40% de transparencia sobrepuesta al modelo de sombras.	42
Figura 16 Ejemplo del uso del modelo de sombras área 2; a) geología con 0% de transparencia; b) modelo de sombra; c) geología con 40% de transparencia sobrepuesta al modelo de sombras	43
Figura 17. Modelo de pendientes para el área 1.....	44
Figura 18. Opciones para crear el modelo de pendientes con la herramienta Slope	45
Figura 19. Clasificación de las pendientes	46
Figura 20. Asignación de los rangos (Método/Manual).....	46
Figura 21 Modelo de pendientes para el área 2.....	47
Figura 22. En recuadro de la imagen se puede observar la zona con distorsión	48
Figura 23. Espejo de agua que genera errores de distorsión el DEM	48
Figura 24. Selección de bandas 5, 3,2, para imagen Rapideye.....	49

Figura 25. Selección de bandas 1,2,3, para imagen Spot.	50
Figura 26. Imagen representativa de sinergia modelo de pendientes /Sombras para el área 1.	51
Figura 27. Imagen representativa de sinergia modelo de pendientes /Sombras para el área 2.	52
<i>Figura 28. Imagen representativa de sinergia imagen /Sombras para el área 1.</i>	<i>53</i>
Figura 29. Imagen representativa de sinergia imagen /Sombras para el área 2.	54
Figura 30. Imagen representativa de sinergia modelo de elevación /Sombras para el área 1.	55
Figura 31. Imagen representativa de sinergia modelo de elevación /Sombras para el área 2.	56
Figura 32. Uso de la herramienta Stretch en el DEM.	57
Figura 33. Trazo de diferentes perfiles longitudinales para delimitar un Circo en el área 1.	58
Figura 34. Trazo de diferentes perfiles longitudinales para delimitar el límite entre un albardón y una napa.	59
Figura 35. Reglas topológicas para los feature class.	60

1. RESUMEN

Durante los últimos años el empleo de la tecnología (SIG) ha crecido considerablemente su uso dentro del ámbito de las ciencias medioambientales. En este trabajo se presentan, a modo de síntesis, las principales formas de aplicación los sistemas de información geográfica en la elaboración de cartografía geomorfológica, dedicando especial atención a la integración del (SIG) y las características geomorfológicas de los terrenos.

En este trabajo se intenta mostrar las diferencias en el uso de diferentes productos de sensores remotos para dos áreas totalmente opuestas en cuanto a sus características de relieves.

Para la realización de la cartografía geomorfológica se utilizaron como insumo principal las imágenes satelitales Spot, Rapideye, el DTM de 30x30 m de la NASA, el modelo de pendientes de la clasificación geomorfológica superpuestos lo que permitió una mejor delimitación de las unidades geomorfológicas.

PALABRAS CLAVE: SIG, Geomorfología, Mapas

2. ABSTRACT

In recent years the use of technology (SIG) has greatly increased its use within the field of environmental sciences. In this work are presented, by way of summary, the main ways to apply geographic information systems in developing geomorphological mapping, with particular attention to the integration of (GIS) and the geomorphology of the land.

This paper tries to show the differences in the use of different remote sensing products for two completely opposite areas in terms of their characteristics in relief.

To carry out the geomorphological mapping satellite images Spot, Rapideye, DTM 30x30 m NASA model earrings overlapping geomorphological classification that allowed a better delineation of geomorphological units were used as the main input.

KEYWORDS: GIS, Geomorphology, and Maps.

3. INTRODUCCIÓN

La cartografía referida como la ciencia encargada de la realización y estudio de los mapas; entendiendo por mapa la representación gráfica de relaciones y formas espaciales (Arthur H. Robinson et al. 1.987), ha desempeñado en la geomorfología, como en otras ciencias de la tierra, un papel irremplazable para reunir información, establecer hechos, entender procesos y en general, servir de base en todo esfuerzo de cuantificar los componentes del relieve. El mapa geomorfológico representa los diferentes procesos morfogenéticos y el material sobre el cual actúan; teniendo esta información compilada es posible realizar análisis estadístico de los procesos en función de algunos parámetros, tales como litología, edafología, rasgos estructurales, grado de pendiente, patrones de drenaje, etc., siendo una herramienta básica y necesaria para plantear los problemas y establecer respuestas a los proyectos de ordenamiento o equipamiento territorial. Así mismo, el mapa permite evaluar la porción de un territorio determinado, llegando a niveles altos de precisión y exactitud que requieren cada vez más nuevas formas en el tratamiento de la información.

Durante los últimos años se ha venido incrementado el uso de los sistemas de información geográfica (SIG) en la cartografía geomorfológica; la gestión rápida y eficiente de los diferentes datos contenidos en un banco informatizado, la generación de nueva información a partir de documentos cartográficos, la facilidad de establecer correlaciones estadísticas entre diversos aspectos medioambientales estudiados por disciplinas especializadas, que generalmente se abordan de manera independiente, son solo algunas de las ventajas que ofrece un SIG como herramienta.

Para este trabajo se utilizó información proveniente de sensores remotos y mediante su análisis y procesamiento digital con el software ArcGIS 10.2, se logró obtener mapas geomorfológicos de dos áreas diferentes, una correspondiente a un relieve de montaña en el departamento de Caldas y otra con relieve de planicie en el departamento de Córdoba, para una extensión total de 1257 km², donde se clasificaron cinco diferentes unidades geomorfológicas.

4. JUSTIFICACIÓN

Colombia en los últimos años ha llegado a ser un país competitivo en el uso de tecnologías aplicadas a las ciencias de la tierra, tal es el caso de la aplicación de los sistemas de información geográficos en la cartografía geomorfológica. El uso de esta herramienta se ha convertido en una necesidad, ya que la facilidad de gestionar las diferentes variables con que cuenta esta ciencia, ha permitido numerosas aplicaciones de manera ágil y efectiva, guardando una estrecha relación con la implementación de medidas que promuevan el desarrollo de las comunidades.

Los sistemas de información geográfica inducen actualmente un cambio en la forma como se venía generando la cartografía; los ajustes a escalas más detalladas, la información cada vez más exacta, precisa y confiable aportada por los diferentes sensores remotos y la necesidad de una permanente actualización de la información existente, hacen de los SIG herramientas indispensables al momento de abordar cualquier proyecto en este ámbito. El presente trabajo ofrece la posibilidad de una exploración fructífera en este sentido, permitiendo sugerir ideas y recomendaciones a futuros estudios.

La geomorfología es una ciencia esencialmente genética, evolutiva y dinámica, cuyo objetivo es comprender como se han originado y como han evolucionado, hasta el presente, los distintos elementos y propiedades del relieve. (GUTIERREZ-VALDES, 1989); los mapas geomorfológicos sintetizan la evolución del relieve de acuerdo a su origen, edad y a la dinámica de los procesos que lo modelaron y se convierten en un instrumento capaz de satisfacer muchas demandas prácticas.

5. ÁREA PROBLEMÁTICA

La incorporación de los sistemas de información geográfica y la disponibilidad de información digital proveen nuevas oportunidades en la interpretación geomorfológica; por tal razón en este trabajo se propone el uso de las plataformas SIG para realizar un análisis geomorfológico que permita obtener la cartografía geomorfológica de dos diferentes zonas del país que representan dos tipos de paisajes diferentes, el paisaje de montaña y el de planicie.

El uso de las plataformas SIG mejora la técnica de análisis de la información como la de los productos de los sensores remotos, el análisis automático de los datos reduce la subjetividad de la interpretación, y el mapeo basado en modelos digitales del terreno permite la delimitación, cuantificación y caracterización objetiva de la geoformas; otras variables como litología, geología estructural y pendientes pueden incorporarse al análisis siendo posible y necesario el conocimiento del profesional para su complemento. Esto hace que el proceso de cartografía geomorfológica sea más sistemático, permitiendo una rápida ejecución y actualización de la información, con la posibilidad de calibrar modelos geomorfológicos anteriormente planteados y realizados.

Los investigadores de la geomorfología en el país encuentran cada vez más efectiva la utilización de los sistemas de información geográfica (SIG) debido a su capacidad de gestionar los datos. La cartografía geomorfológica es la base para diferentes propósitos, y esto crea el interés de fortalecer el uso de estas herramientas convirtiéndose en un poderoso adelanto metodológico en la disciplina.

6. OBJETIVOS

6.1. OBJETIVO GENERAL

Generar la cartografía geomorfológica para dos áreas con diferentes características de paisajes, un área del Viejo Caldas- Tolima, sector de montaña y un área del municipio de Lorica, Córdoba, sector de planicie, a través de la interpretación de productos de sensores remotos dentro de una plataforma SIG y una base de datos geográfica.

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar, examinar y analizar información geológica, cartográfica y de sensores remotos, con el propósito de tener una visión general de los insumos necesarios para el SIG.
- Organizar, generar e interpretar los productos de sensores remotos y generar los insumos derivados del modelo de elevación digital (modelo de sombras y de pendientes).
- Diseñar una base de datos geográfica con un respectivo sistema de coordenadas y atributos predeterminado con el fin de introducir los datos necesarios y elaborar el mapa geomorfológico.
- Digitalizar y clasificar los polígonos de las áreas, con base en la visualización e interpretación de las imágenes satelitales y los modelos generados.

7. LOCALIZACIÓN

Colombia es un país con un territorio que presenta gran variedad de relieve lo que posibilita la existencia de variados conjuntos de geoformas factibles de ser analizadas e interpretadas a partir de los productos generados por sensores remotos utilizando una plataforma SIG. Para el presente estudio se seleccionaron dos áreas de gran importancia hidrológica y ambiental con características diferentes.

La primer área, denominada Área 1, posee una extensión de 1011,5Km² y hace parte de los municipios de Marulanda, Neira, Manizales, Villamaria (departamento de Caldas), Ibagué, Herveo, Casabianca, Murillo, Santa Isabel, Anzoátegui (departamento del Tolima), Santa Rosa de Cabal (departamento de Risaralda) y Salento (departamento del Quindío); está cubierta por las planchas topográficas 206, 225, 244, a escala 1:100.000 publicadas por el Instituto Agustín Codazzi.

La segunda área, denominada Área 2, tiene una extensión de 246,6 Km² y hace parte de los municipios de Lorica y San Bernardo del Viento (departamento de Córdoba); está cubierta por las planchas 43IIIC, 51IA, 51IB, 51IC, 51ID, y 51IIIB, a escala 1:25.000 publicadas por el Instituto Agustín Codazzi. (Ver Figura 1y

Figura 2)

Figura 1. Mapa de localización del área 1.

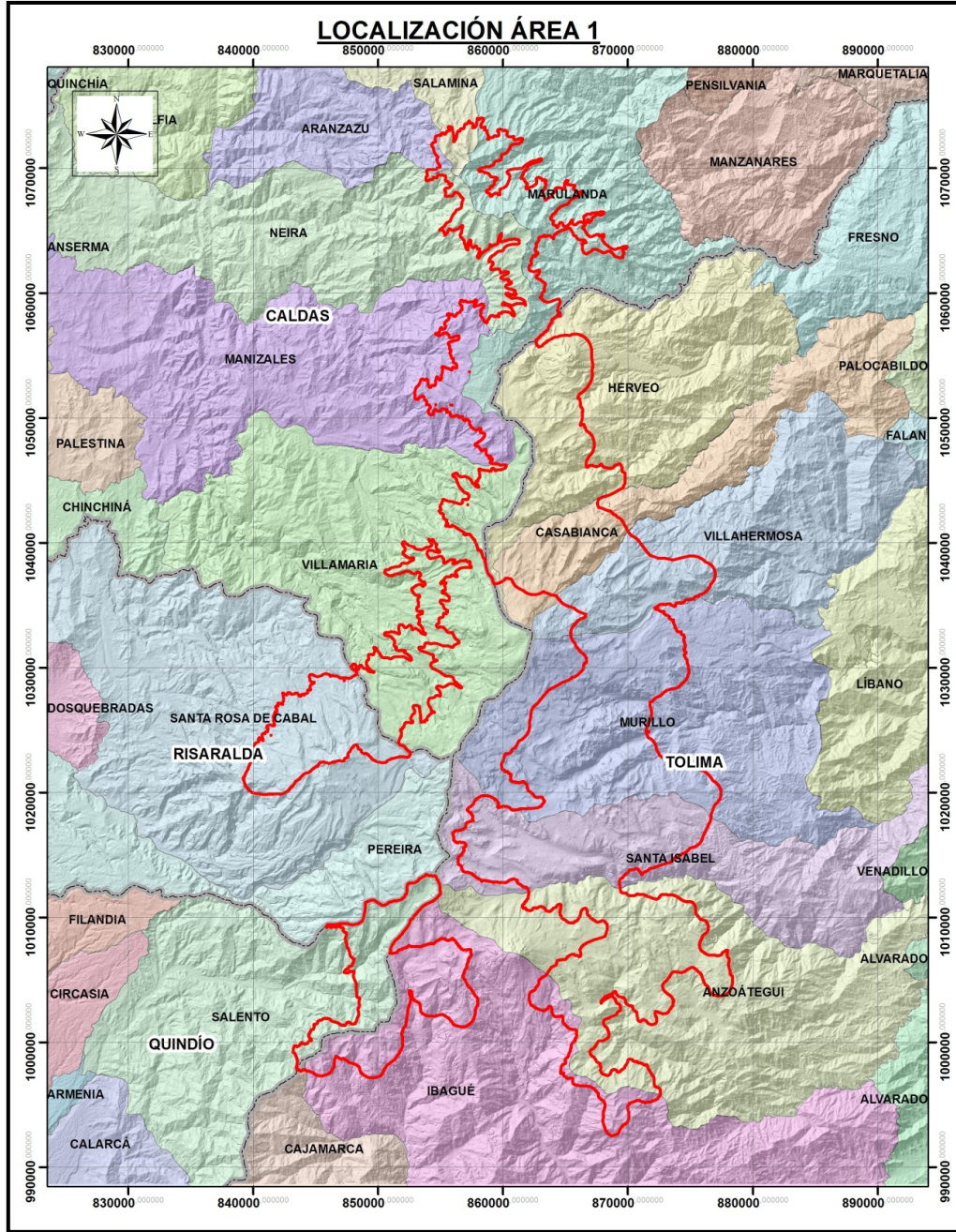
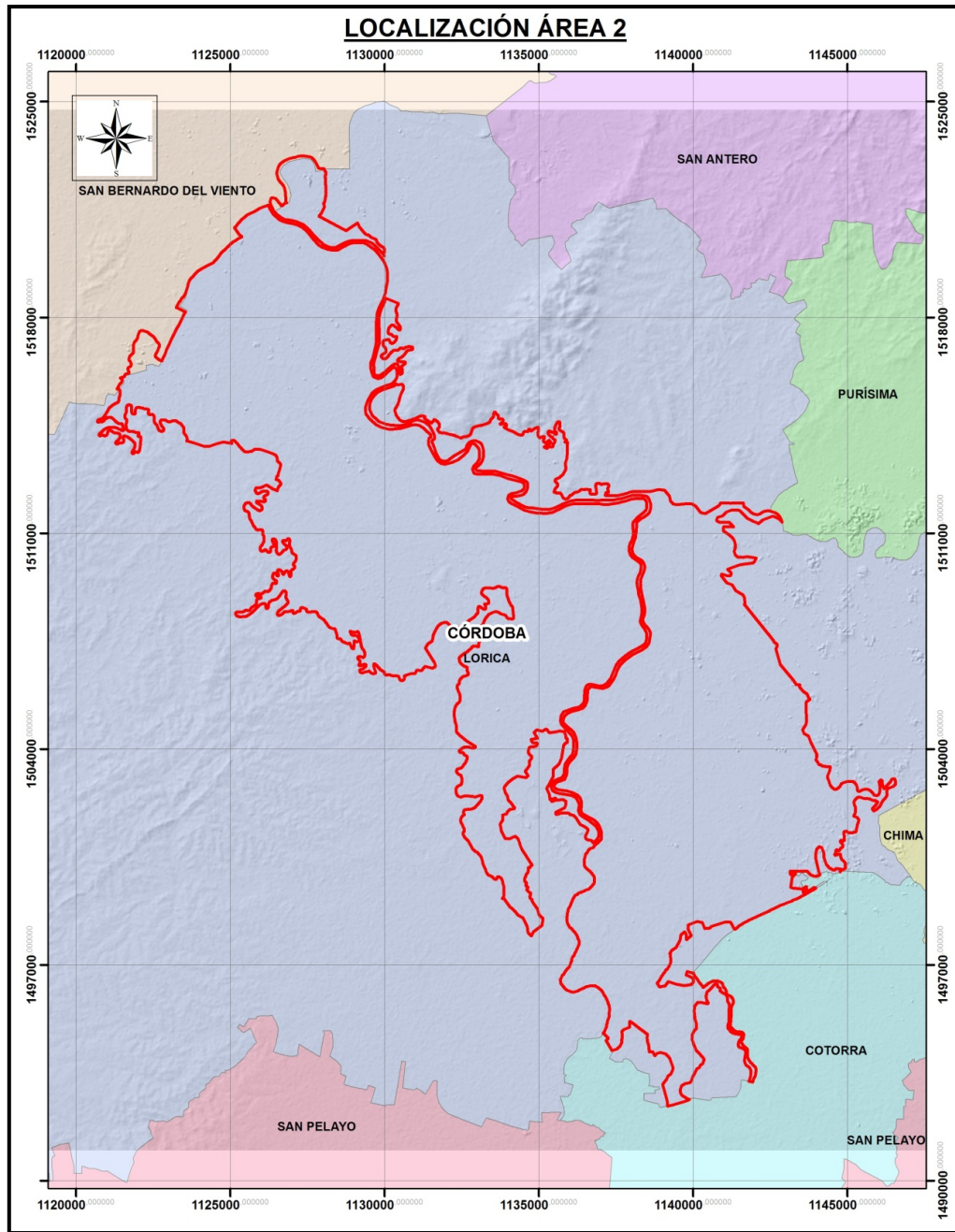


Figura 2. Figura. Mapa de localización del área 2.



8. MARCO TEÓRICO

Para un mejor desarrollo y conceptualización de este trabajo, se hace necesario describir de manera clara y concisa los términos empleados en este texto, con el fin de mejorar la comprensión del escrito.

8.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

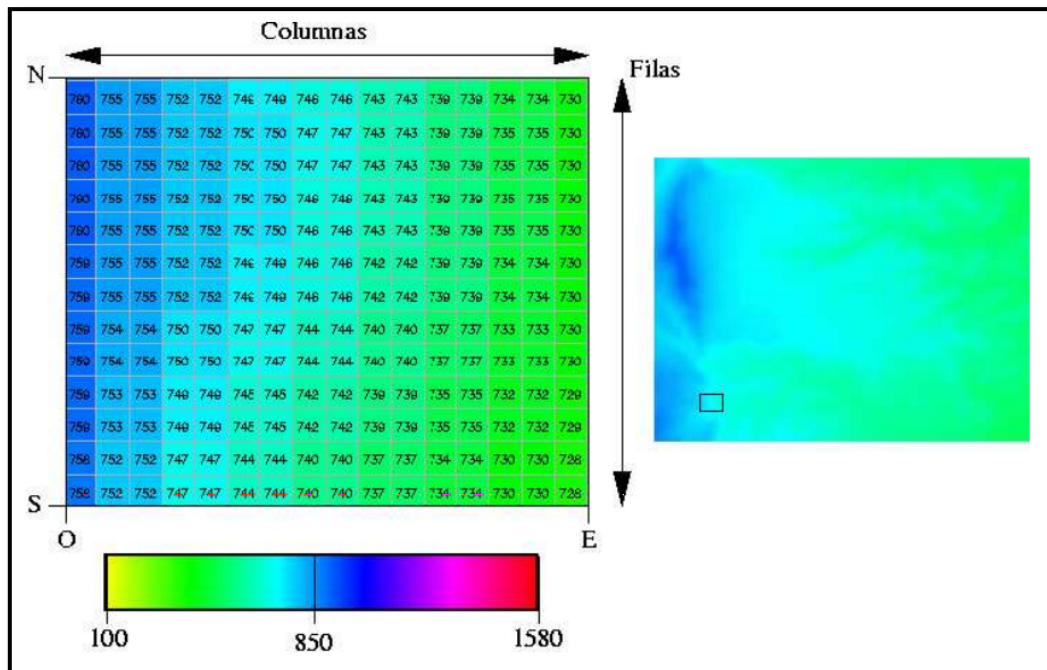
En la bibliografía se encuentran numerosas definiciones de sistemas de información geográfica, una de las más extendida y aceptada es la redactada por el NCGIA (NATIONAL CENTER FOR GEOGRAPHIC INFORMATION AND ANALYSIS, 1990), " un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión".

Este sistema permite manejar por separado la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, siendo posible trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al interprete la posibilidad de relacionar la información existente.

8.2. RASTER

Es un modelo de datos espaciales que define el espacio como una matriz de celdas de igual tamaño dispuestas en filas y columnas, y compuestas de bandas simples o múltiples. Cada celda contiene un valor de atributo y las coordenadas de ubicación. A diferencia de una estructura de vector, que almacena coordenadas de forma explícita, las coordenadas del mapa de bits se encuentran en el orden de la matriz. Los grupos de células que comparten el mismo valor representan el mismo tipo de accidente geográfico. (Ver Figura 3).

Figura 3. Codificación de una variable cuantitativa en formato raster



8.3. VECTOR

El formato vectorial define objetos geométricos (puntos, líneas y polígonos) mediante la codificación explícita de sus coordenadas. Los puntos se codifican en formato vectorial por un par de coordenadas en el espacio, las líneas como una sucesión de puntos conectados y los polígonos como líneas cerradas (formato orientado a objetos) o como un conjunto de líneas que constituyen las diferentes fronteras del polígono.

Este formato resulta especialmente adecuado para la representación de entidades reales ubicadas en el espacio (carreteras, ríos, parcelas de cultivo); también resulta más adecuado que el raster cuando se manejan datos que suponen un valor promediado sobre una extensión de territorio que se considera homogénea, los límites de la misma pueden ser arbitrarios o no (por ejemplo estadísticas municipales, datos piezométricos en acuíferos, etc.).

8.4. SENSORES REMOTOS

Es la técnica de captura de datos, que permite obtener información a distancia de objetos sin que exista un contacto material. Para que ello sea posible es necesario que, aunque sin contacto material, exista algún tipo de interacción entre los objetos observados, situados sobre la superficie terrestre, marina o en la atmósfera, y un sensor situado en una plataforma (satélite, avión, etc.). La obtención de estos datos

implica el uso de herramientas llamadas sensores, que pueden captar los datos espectrales y espaciales de los objetos (KIEFER, 1994).

8.5. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (DEM)

“Representación estadística del terreno, en forma de números digitales, por medio de un conjunto de puntos con coordenadas x,y,z respecto a un sistema de georreferenciación conocido”, (MILLER y LAFLAMME 1958). Un Modelo Digital de Elevaciones es una representación digital de información cartográfica de la elevación del terreno en forma de celdas a intervalos regularmente espaciados. El DEM se puede visualizar en dos dimensiones o mediante levantamientos 3D de todas las capas para manipulación del mismo.

A partir de un DEM es posible construir un conjunto de modelos derivados, a partir de la información contenida en el y refleja características del terreno simples como (pendiente, sombras, curvaturas, orientación, etc.).

Modelo de Pendientes

La pendiente en un punto del terreno se define como el ángulo existente entre el vector normal a la superficie en ese punto y la vertical (Felicísimo, 1994). Existen diferentes métodos para el cálculo de la pendiente los cuales se clasifican en función del número de puntos que intervienen en el cálculo; el uso de cualquiera de las metodologías debe valorarse en función del tipo de aplicación a desarrollar posteriormente.

En la plataforma SIG (ArcGIS 10.2) se emplea la herramienta Slope donde para cada celda, la herramienta calcula la tasa máxima de cambio en el valor de esa célula a sus vecinos. Básicamente, el cambio máximo en elevación sobre la distancia entre la celda y sus ocho vecinos identifica el descenso más pronunciado de la celda.

El valor de la pendiente de este plano se calcula utilizando la técnica de máxima promedio. Cuanto menor sea el valor de la pendiente, es más plano del terreno; cuanto mayor sea el valor de la pendiente, la más pronunciada del terreno. La trama pendiente de salida se puede calcular de dos tipos de unidades, grados o en porcentaje (porcentaje de aumento). (HELP ArcGIS 10.2).

Modelo de sombras (Hillshade)

Es un modelo digital cuya función es la representación de sombras y niveles de radiación solar sobre el terreno. Mediante los Modelos Digitales de Elevación, y con ayuda de herramientas SIG, podemos simular este tipo de modelos dando sensación de profundidad en la geografía por medio de sombras proyectadas sobre las laderas. El grado de iluminación se da en base a las posiciones relativas de los píxeles, una respecto a la orientación o ángulo acimutal, y otra respecto al ángulo de elevación solar o cenital, que por defecto suelen usarse 45° de Elevación Solar y 315° de Orientación,

Este raster generado en base a ese análisis, podrá ser usado como componente cartográfico que facilitará la representación del terreno.

En la plataforma SIG (ArcGIS 10.2) se emplea la herramienta Hillshade para obtener la iluminación hipotética de una superficie mediante la determinación de los valores de iluminación para cada celda en un ráster. Esto se hace mediante el establecimiento de una posición de una fuente de luz hipotética y el cálculo de los valores de iluminación de cada célula en relación con las células vecinas. Se puede mejorar en gran medida la visualización de una superficie para su análisis o visualización gráfica, especialmente cuando se utiliza la transparencia. Por defecto, la sombra y la luz son tonos de gris asociados a números enteros de 0 a 255 (al pasar de negro a blanco).

Los parámetros de sombreado: El factor principal al crear un mapa de sombreado para cualquier lugar en particular es la posición del sol en el cielo.

Azimut: El azimut es la dirección angular del sol, medido desde el norte en grados hacia la derecha de 0 a 360. Un azimut de 90° es este. El azimut por defecto para el sombreado es 315°

Altitud: La altitud es la pendiente o ángulo de la fuente de iluminación sobre el horizonte. Las unidades están en grados, de 0 (en el horizonte) a 90 (overhead). El valor por defecto es de 45 grados. La altitud del sol por defecto de sombreado es 45°.

8.6. IMAGEN SATELITAL

La imagen satelital es una representación visual de los datos reflejados por la superficie de la tierra que captura un sensor remoto. Los datos son enviados a una estación en donde se procesan y se convierten en imágenes. Cada vez tenemos imágenes satelitales de mayor resolución, con mayor cantidad de bandas en el espectro electromagnético y mayor disponibilidad para los usuarios (Fuente: USGS).

8.7. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología es la rama de la geología y de la geografía que estudia las formas de la superficie terrestre y los procesos que las generan.

8.8. GEOFORMA

La geoforma se refiere a cualquier componente o rasgo físico de la superficie terrestre que ha sido el resultado de la interacción de los procesos endógenos (internos), formadores de los rasgos principales del relieve y los procesos exógenos (externos) asociados con el desgaste del relieve primario a través del tiempo geológico. (SELBY, 1984).

8.9. AMBIENTE

Es el conjunto de procesos que actúan sobre la superficie terrestre se agrupan comúnmente en el campo de la morfodinámica, es decir los procesos exógenos tales como los glaciares, ríos, viento y el oleaje del mar, entre otros, procesos de impactos variables sobre la corteza terrestre (ZINCK, 2012).

8.10. PAISAJE

Es una amplia porción de terreno caracterizada por su expresión fisiográfica; corresponde a una repetición de tipos de relieve/modelado similares o a una asociación de tipos de relieve/modelado disímiles. (ZINCK ,2012).

8.11. RELIEVE

Los conceptos de relieve y modelado están basados en la definición que se da comúnmente a ambos términos en la literatura geomorfológica francesa (Viers, 1967). Consiste en geoformas determinadas por la topografía, geología y por estructuras; geoformas determinadas por condiciones morfoclimáticas o por procesos morfogénéticos.

8.12. MODELADO

Conjunto de geoformas determinadas por condiciones morfoclimáticas o procesos morfogenéticos específicos, controlados mayormente por la geodinámica externa.

8.13. FORMA DEL TERRENO

Corresponde al nivel más bajo del sistema jerárquico. Es la unidad geomorfológica elemental, que solo puede subdividirse por fases. Se caracteriza por su geometría, dinámica y su evolución. Forma de terreno cubre cualquier tipo de unidad geomorfológica desde el nivel de paisaje hasta los niveles más bajos del sistema, sin distinción de jerarquía o de grado de abstracción. En este sentido, el término de forma de terreno es sinónimo de geoforma. (Zinck 2012).

8.14. ANTECEDENTES

Colombia a pesar de tener grandes estudios de geomorfología a gran escala, también presenta grandes debilidades que no ha podido superar a pesar de años de trabajo, una de ellas es el carecer una metodología estandarizada de trabajo que se encuentre respaldada por las diferentes escuelas de ciencias de la tierra del país.

Entre los trabajos más relevantes de geomorfología que se pueden encontrar en la bibliografía del del país se tiene:

- Zinck (1987), Aplicación de la geomorfología al levantamiento de suelos en zonas aluviales y definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos.

Este trabajo representa un avance en las consideraciones que se deben tener en los estudios edafológicos; también recalca la importancia de definir los ambientes geomorfológicos en los trabajos de geomorfología.

- VILLOTA (1991), Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras.

Analiza la composición y origen del paisaje terrestre de acuerdo a las teorías de la época, y las características de los relieves, haciendo énfasis en las zonas tropicales de Latinoamérica.

- SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOLOGÍA (2005), Plan estratégico para el desarrollo de la geomorfología en Colombia.

Direcciona la geomorfología a través de la presentación e implementación del Plan Estratégico para el Desarrollo de la Geomorfología en Colombia, instrumento mediante el cual se fija unos objetivos comunes entre los geomorfólogos para el desarrollo de esta línea del conocimiento.

- VILLOTA (2005), Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras.

Da a la geomorfología un enfoque, en él se conjuga y se le coloca un orden racional a la relación paisaje-suelo-vegetación. Además discute conceptos fundamentales sobre geomorfología y fisiografía.

- KARIN (2009), Clasificación fisiográfica del terreno a partir de la inclusión de nuevos elementos conceptuales.

Presenta nuevos elementos conceptuales para mejorar y actualizar del terreno creado por el CIAF en 1997.

- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (2011), Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia.

Este documento es el punto de partida de las discusiones temáticas en el país, consigna los conceptos más importantes de la geomorfología, tendientes a definir la metodología más apropiada para Colombia. En ese sentido y con el fin primordial de organizar el pensamiento técnico científico hacia el análisis de las geoformas, propone una jerarquización de las mismas de lo regional a lo particular en: Geomorfoestructuras, Provincias, Regiones, Unidades, Subunidades y Componentes geomorfológicos. Del mismo modo se plantea para el proceso de cartografía geomorfológica, la adaptación de la metodología desarrollada por el ITC

con algunas modificaciones, producto de las experiencias obtenidas por INGEOMINAS con trabajos adelantados en el país.

- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (2012), Sistemas morfogénicos del territorio colombiano en escala 1: 500.000. Se realiza la actualización geomorfológica a escala 1:500.000 donde se delimitan los sistemas morfogénicos.

- ZINCK (2012), Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. Propone la relación entre geomorfología y pedología, incluyendo los aspectos conceptuales que sustentan estas relaciones y su implementación práctica en estudios e investigaciones.

- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (2013) - Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000. Plantea el procedimiento general para un levantamiento geomorfológico a escala 1:100.000, apoyado en las técnicas modernas con información satelital y cartografía digital.

9. METODOLOGÍA

Para la elaboración del presente trabajo se integraron algunos principios de las propuestas metodológicas de (CARVAJAL, J.H, 2008), (IDEAM, 2010), (IDEAM, 2013) y (ZINCK, A., 2012) para la elaboración de cartografía geomorfológica a escala 1: 25.000 sobre una plataforma de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y utilizando las técnicas modernas de sensores remotos (SR), cartografía digital, técnicas tradicionales de fotointerpretación y trabajo de campo. Esta metodología implica realizar una diferenciación del conjunto de formas, formaciones y procesos que definen los sistemas morfogénicos relativamente homogéneos, por lo tanto es necesario unificar criterios de la información mediante las diferentes jerarquizaciones empleadas por los autores antes mencionados. Las categorías en las que se clasificaron las diferentes unidades tienen un criterio de acuerdo al nivel de detalle o escala de trabajo, se proponen y adoptan los rangos de clasificación de mayor a menor.

El sistema jerárquico que se propone relaciona en forma sucesiva los macroambientes y geoformas en función de sus características morfodinámicas del orden de las geoformas (Flórez, et al, 1996 y Robertson, et al, 2003) citado por (IDEAM, 2013). Siguiendo este mismo esquema se propone un sistema de representación gráfica alfanumérico.

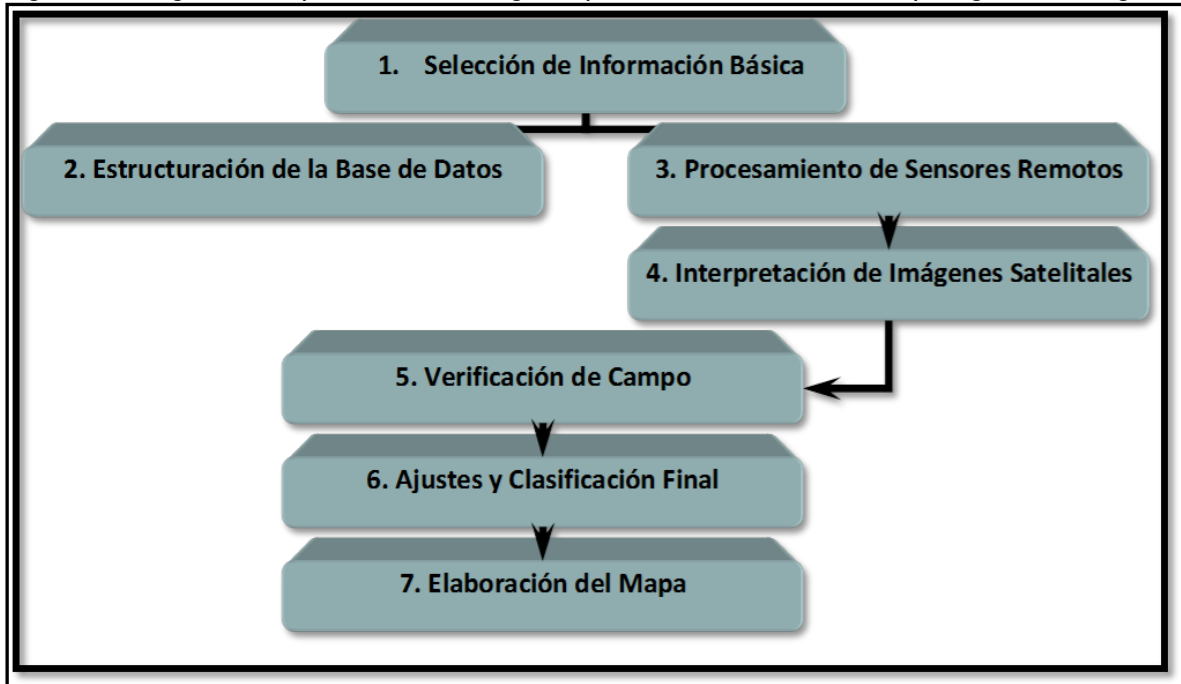
Los términos utilizados para la identificación de las diferentes unidades son descriptivos y están basados en conceptos taxonómicos y de clasificaciones aplicadas en distintas disciplinas y teóricamente adaptadas de una amplia lista de autores. Así, la clasificación jerarquizada brinda la posibilidad de generalizar y aplicar procedimientos sobre la base de datos integrada a un sistema de información geográfica (SIG).

9.1. PROCEDIMIENTO

La metodología que se plantea se aplica actualmente a los levantamientos geomorfológicos realizados en Colombia, y comprende siete fases (Figura 4):

- Selección de Información Básica
- Estructuración de la Base de Datos
- Procesamiento de productos de sensores remotos
- Interpretación de Imágenes Satelitales
- Verificación de Campo, de ser necesario.
- Ajustes y Clasificación final
- Elaboración del mapa geomorfológico.

Figura 4. Diagrama de pasos metodológicos para la realización de mapas geomorfológicos



9.2. SELECCIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA

Luego de la revisión bibliográfica de la información de geomorfología y afines, se seleccionaron básicamente los trabajos de los autores mencionados; como el nivel de estudio de los diferentes trabajos consultados se presenta a escalas cartográficas disímiles, fue necesario realizar una discriminación y ajuste según los objetivos expuestos en el proyecto.

Así mismo se recopiló la información respecto a la cartografía base, cartografía temática, imágenes de satélite y el modelo de elevación digital (DEM) SRTM de 30*30 m de la NASA. La cartografía publicada por el IGAC sirvió tanto de mapa base como fuente de información vial e hidrográfica, y adicionalmente se consultó la cartografía geológica del SGC (Servicio Geológico Colombiano).

Con el uso de las tecnologías SIG se confeccionaron dos bases de datos que recopilan la información geomorfológica y toda la información relacionada con la interpretación y la representación cartográfica final.

9.3. ADECUACIÓN DE LA BASE DE DATOS

El modelo de la base de datos geográfica (Geodatabase) fue estructurada en la plataforma ArcGIS, esta contiene un Feature Dataset que tiene configurado en su sistema de coordenadas XY, la proyección Magna Sirgas con el origen de coordenadas al cual pertenece a cada área de trabajo. También contiene un Dataset el cual posee un Feature Class tipo polígono que almacena la información que representa la geomorfología con los atributos descritos para cada paisaje. También se incluye en ese Dataset una Topología que aplica dos reglas topológicas que validan la existencia traslapan y la presencia huecos entre los polígonos (Must Not Overlap y Must Not Have Gaps).

Para ambas bases de datos fueron creados sus respectivos dominios los cuales son utilizados para la clasificación del ambiente y de la unidad geomorfológica. También fue necesaria la creación de subtipos para facilitar el diligenciamiento de la tabla de atributos de las unidades geomorfológicas; además de crear un dominio para la selección del atributo “Ambiente”, se creó en este mismo campo un subtipo que permite que el dominio del atributo “Tipo de relieve” varíe de acuerdo a la selección realizada en el campo “Ambiente”.

Finalmente se definieron los atributos y su respectiva codificación que responden al objetivo para obtener la estandarización cartográfica de los mapas geomorfológicos.

9.4. PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS DE SENSORES REMOTOS.

Los productos y técnicas de sensores remotos (imágenes de satélite y modelos de elevación) permiten la identificación de los rasgos geomorfológicos y sus particularidades; en esta fase se aplicaron procesamientos para realzar tanto las imágenes como el modelo digital de elevación que mejoraran la visualización de los rasgos geomorfológicos en el espacio de trabajo.

9.5. AJUSTES Y REALCES

Fue necesario ajustar el DEM a la escala de trabajo y acorde con los límites de las áreas, siempre manteniendo las propiedades del original (georeferenciación, resolución, etc.). Entre las técnicas de realce básicamente se aplicaron la expansión de los contrastes y el empleo de diferentes combinaciones de bandas en las imágenes que permitieran resaltar formas y coberturas para una mejor interpretación.

cartografía geomorfológica es importante ya que el trabajo de campo incorpora tanto el reconocimiento general como el levantamiento semi-detallado y la validación de las geoformas identificadas mediante el proceso de interpretación de las imágenes satelitales. Los aspectos para tener en cuenta incluyen: morfología, depósitos superficiales, sustrato rocoso, suelos superficiales, procesos morfodinámicos activos y cobertura.

9.8. AJUSTES Y CLASIFICACIÓN FINAL.

Para poder tener un producto final cartográfico de calidad se deben ajustar los atributos de los polígonos que separan las unidades geomorfológicas. El trabajo se centra en la digitalización definitiva, edición y ajuste de las unidades geomorfológicas y sus respectivos atributos, aplicación de la leyenda y edición final del mapa.

Digitalización definitiva, ajuste de atributos y revisión topológica. En esta etapa del proceso se debe prestar especial atención en el trazo y delimitación precisa de los vértices de las líneas, con el propósito de representar lo más exacto posible la unidad visualizada en las imágenes. Estando las unidades geomorfológicas definidas se realiza el ajuste y la comprobación de la tabla de atributos, diligenciando los datos incompletos y/o modificando los que presenten errores (códigos, símbolos, nombres, descripción de variables, etc).

Finalizada la digitalización se aplica un proceso de control topológico de las unidades, empleando las reglas básicas de la Geodatabase donde se efectúa la correcta adyacencia entre los polígonos y se corrige, si es necesario, los posibles vacíos y sobreposiciones.

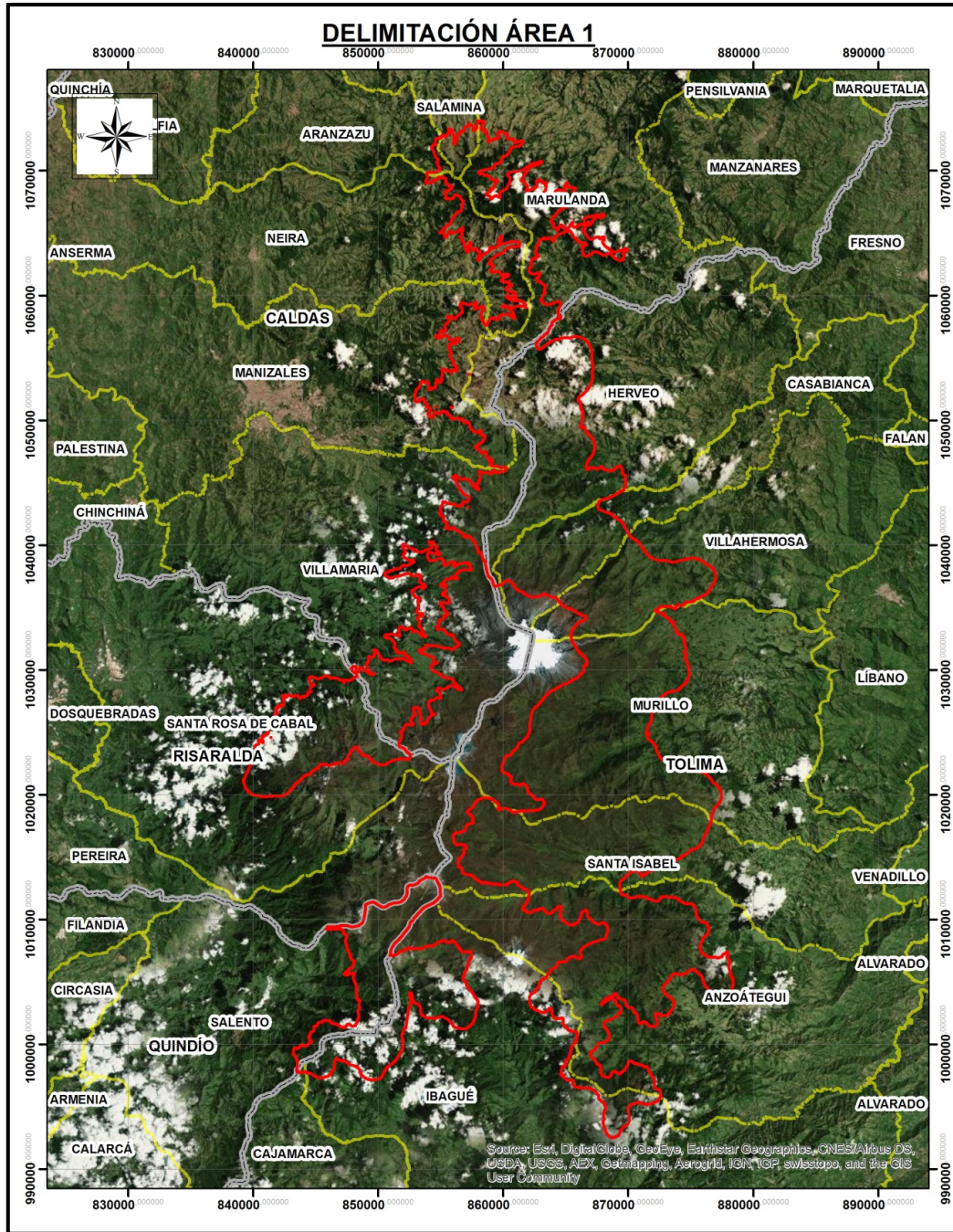
10. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

10.1. ÁREA 1

Se encuentra localizada en los Departamentos de Caldas, Tolima, Risaralda y límites con el Departamento del Quindío; cubre algunos sectores como el Volcán Romeral, el Volcán Cerro Bravo, el Páramo de Letras, el Parque de los Nevados, el Volcán Paramillo de Santa Rosa de Cabal y el Nevado del Quindío. El estudio en general se tiene un cubrimiento de 1011Km². (Figura 6)

Toda el área se localiza en zona de paramos, siendo el páramo un bioma neotropical que ha sido definido como extensas zonas que coronan las cordilleras entre el bosque andino y el límite inferior de las nieves perpetuas. Está determinada como región natural por la relación entre el suelo, el clima, la biota y la influencia humana (RANGEL-CH 2000); posee alturas que van desde los 3200 hasta los 4300 m.s.n.m. presenta una alta humedad y vientos secos; la vegetación predominante son los frailejones, guardarocíos, macollas y musgos. Por encima de los 3.000 metros ya se pueden encontrar los pajonales y frailejones abiertos.

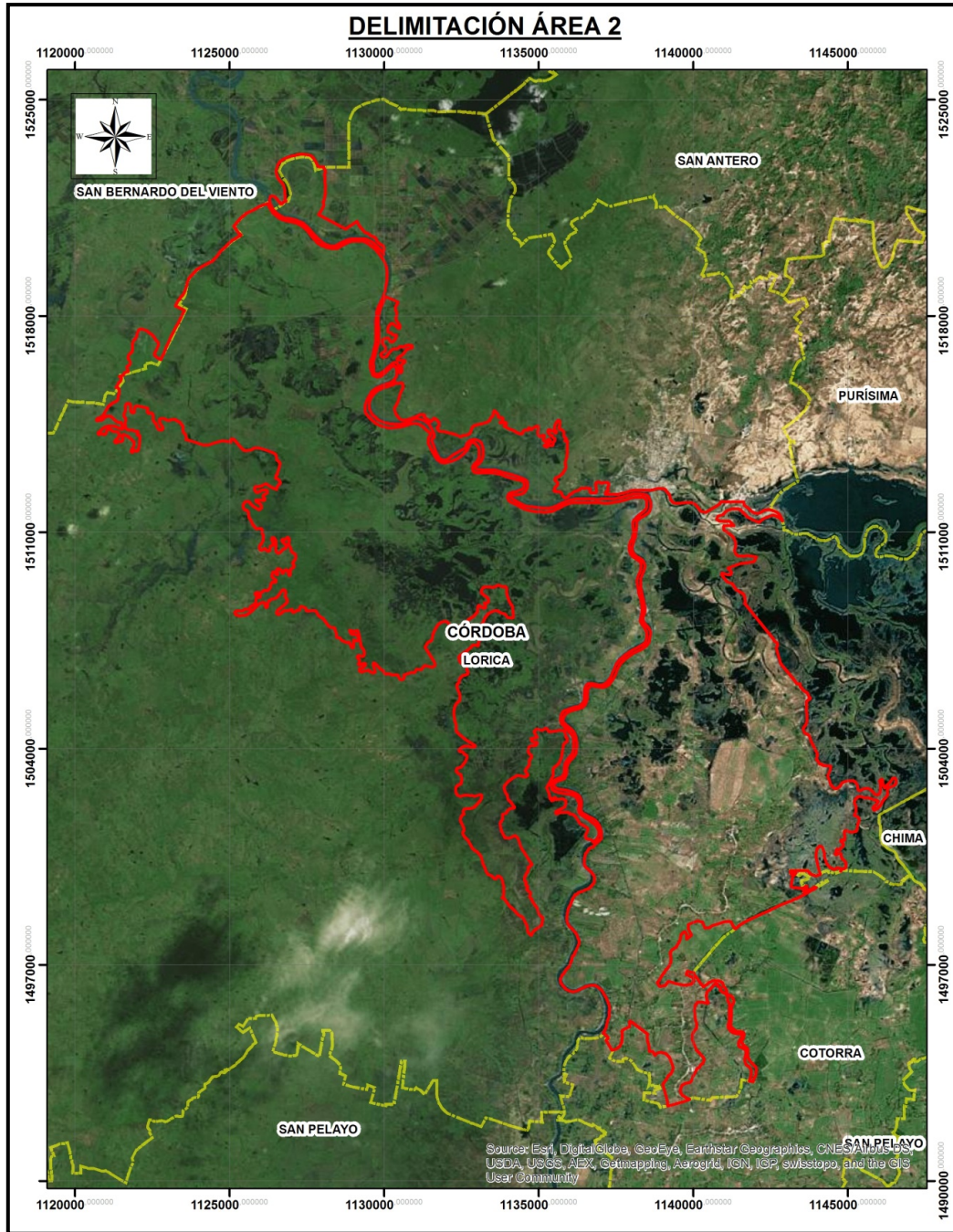
Figura 6. Mapa delimitación del área 1



10.2. ÁREA 2

Se encuentra localizada en el Departamento de Córdoba, cubriendo sectores como los corregimientos Las Camorras, San Sebastián y El Carito.(Figura 7). Toda el área se localiza en zona de humedales, bajo la influencia del río Sinú, hace parte de las ciénagas del complejo grande de Lórica, el cual es un complejo fluviolacustre considerado como uno de los elementos más importantes del paisaje natural del bajo Sinú. La zona del complejo está compuesta por leves depresiones interconectadas por varios reservorios entre los que se destacan las ciénagas del Playón, Momil, Massi, Castañuela, Tabacal y el Quemao, así como también caños naturales que permiten el flujo y reflujo natural de las aguas en las variaciones climáticas de invierno y verano considerados como factores que controlan la estructura y funcionamiento del sistema lagunar en sus aspectos físicos, biológico y socioeconómicos. El clima de la zona se define como semiseco con una humedad relativa superior al 80% y está caracterizado por un nivel elevado de radiación solar (5.4 horas-sol por día) y temperaturas altas durante todo el año con un promedio de 27.6°C, alcanzando el máximo en abril (promedio 28°C) y mínimo en noviembre (promedio 27.2°C). En cuanto a las lluvias, la precipitación media multianual es de 1.350 mm.

Figura 7. Mapa delimitación área 2.



11. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

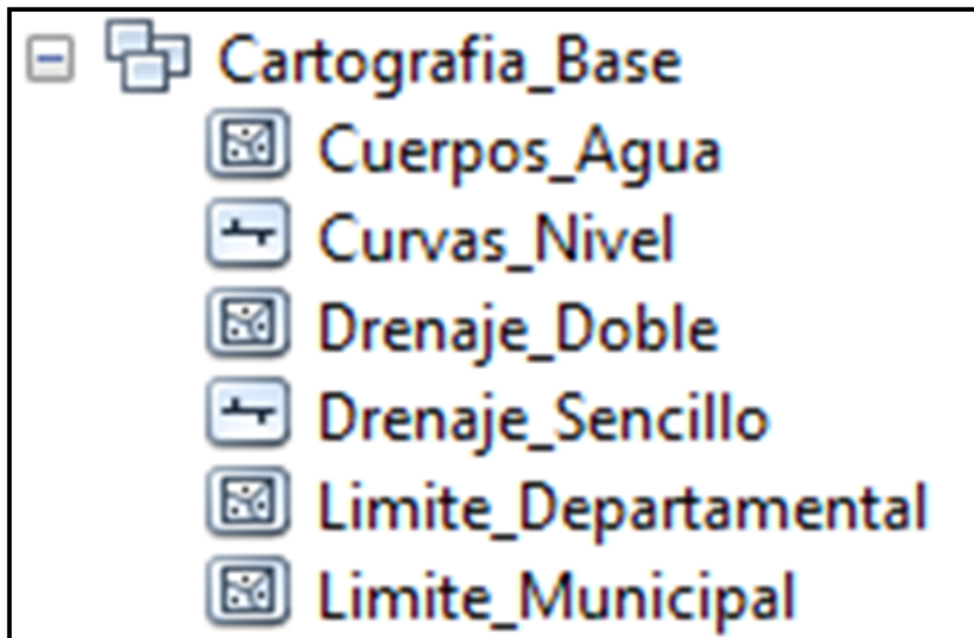
Para esta etapa se integró la información básica y se realizó la creación de la base de datos geográfica para el Sistema de Información Geográfica, la cual fue ingresada al sistema para su vectorización y georreferenciación.

11.1. SELECCIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA

Se realizó el inventario y se recolectó la información existente sobre las dos áreas de trabajo necesarias para la elaboración de la cartografía. (Tabla 1)

Planchas cartografía básica IGAC. Cartografía básica en formato digital realizada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, contiene información como las curvas de nivel, hidrografía y límites geográficos; se seleccionaron las capas de cuerpos de agua, drenajes sencillos y dobles, límites departamentales y municipales.

Figura 8. Feature class de cartografía básica seleccionados para ambas áreas de trabajo.



Planchas geológicas publicadas por el SGC que cubren las áreas de trabajo en formato digital, estas fueron debidamente georeferenciadas en el sistema de coordenadas XY, de acuerdo a la proyección Magna Sirgas con el origen de coordenadas al cual pertenece cada una de las planchas de trabajo y fueron convertidas en formato raster.

Tabla 1 Lista de información básica seleccionada para ambas áreas.

FUENTE	IDENTIFICACIÓN	ESCALA/RESOLUCIÓN
IGAC	206IIA, 206IIC, 206IID, 206IVA, 206IVB, 206IVC, 206IVD, 225IB, 225IIA, 225IIB, 225ID, 225IIC, 225IID, 225IIB, 225IVA, 225IVB, 225IID, 225IVC, 225IVD, 224IB, 244IIA, 244IIB	ESCALA: 1:25.000
	43IIC, 51IA, 51IB, 51IC, 51ID, 51IIA, 51IIB	
SGC Cartografía Geológica	206, 225, 244	ESCALA: 1:100.000
	43, 51	
IMÁGENES SATELITALES	Spot: 643_340_060303 Rapideye: T2010_02_01T162243_RE3_1B_NAC_4520725_96664	
	Rapideye: T2013_01_06t163604_re5_1b_nac_13797077_168296_orto	

Se contó con el DEM en capa raster en la resolución de píxeles cuadrados de 30 x 30 metros; este modelo fue el apoyo para determinar las grandes unidades como paisaje y ambiente, para las demás unidades se requirió el uso de las imágenes satelitales. Después de tener el DEM de toda Colombia como insumo se realizó el corte de mismo utilizando la herramienta Export Raster Data. Los límites de corte se determinaron a partir de las planchas de la cartografía básica, es de anotar que los límites seleccionados no deben ser muy amplios con respecto al área de trabajo ya que esto tiende a suavizar las pendientes, y si son muy ajustados puede ocurrir un sobredimensionamiento de las pendientes.

Figura 9. Primer paso para el corte del DEM

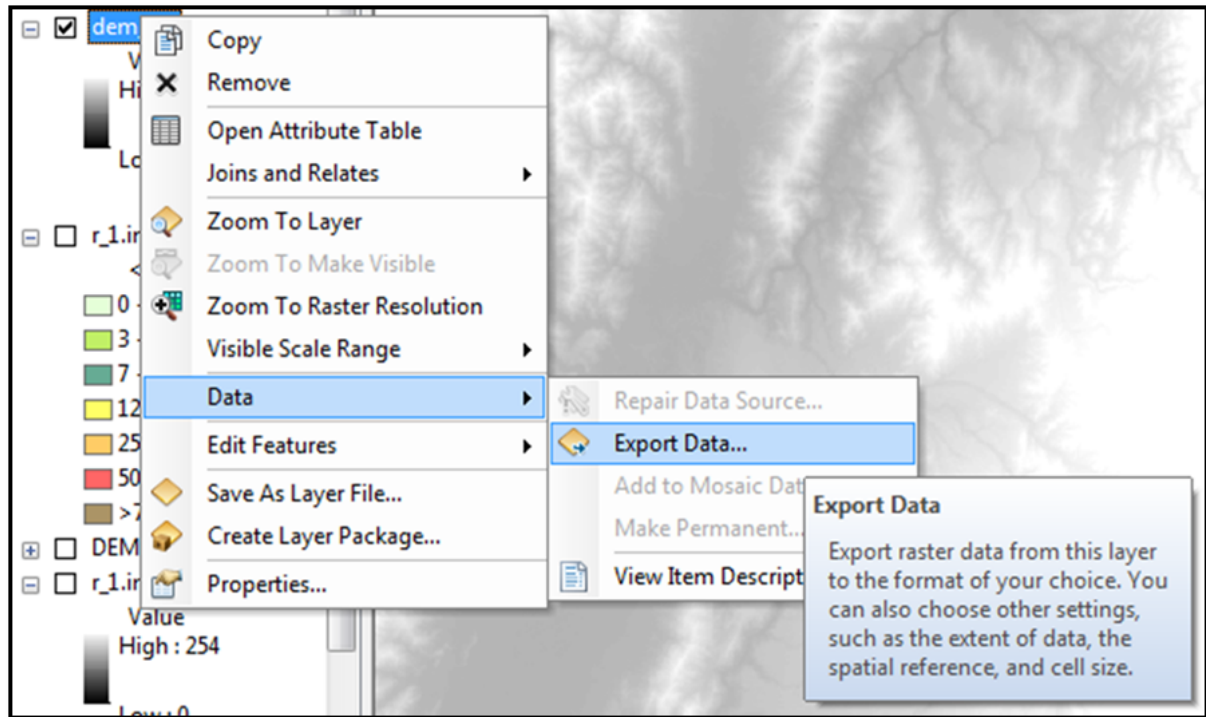
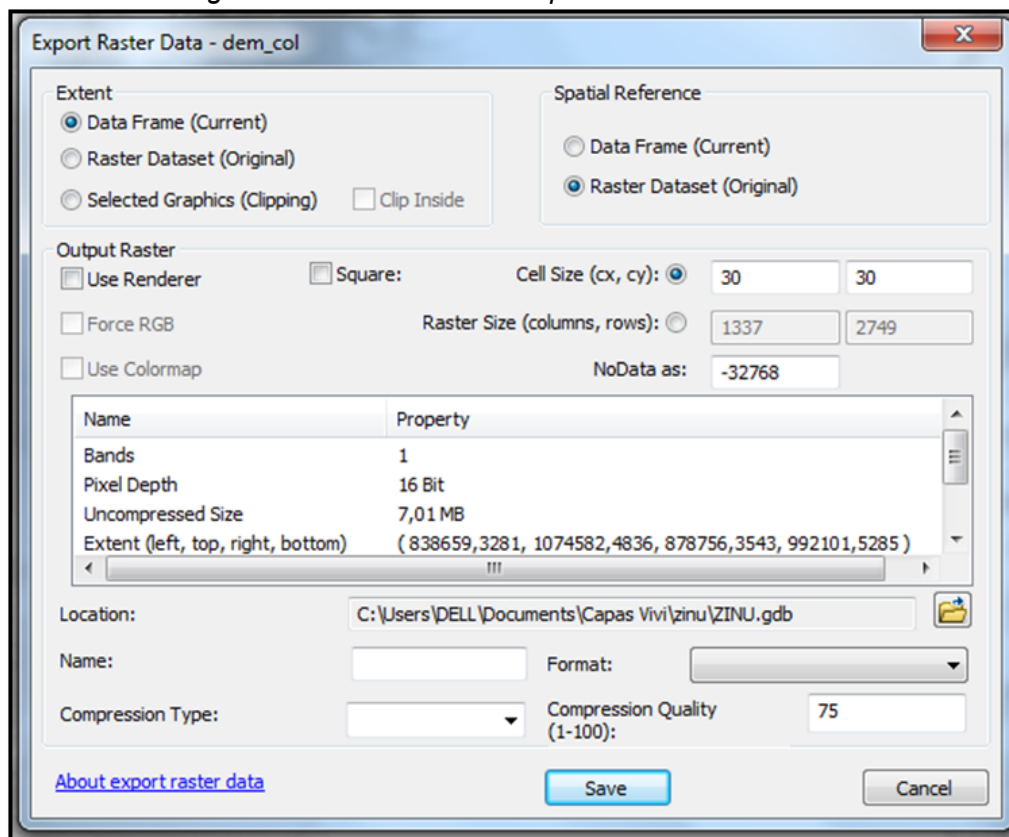


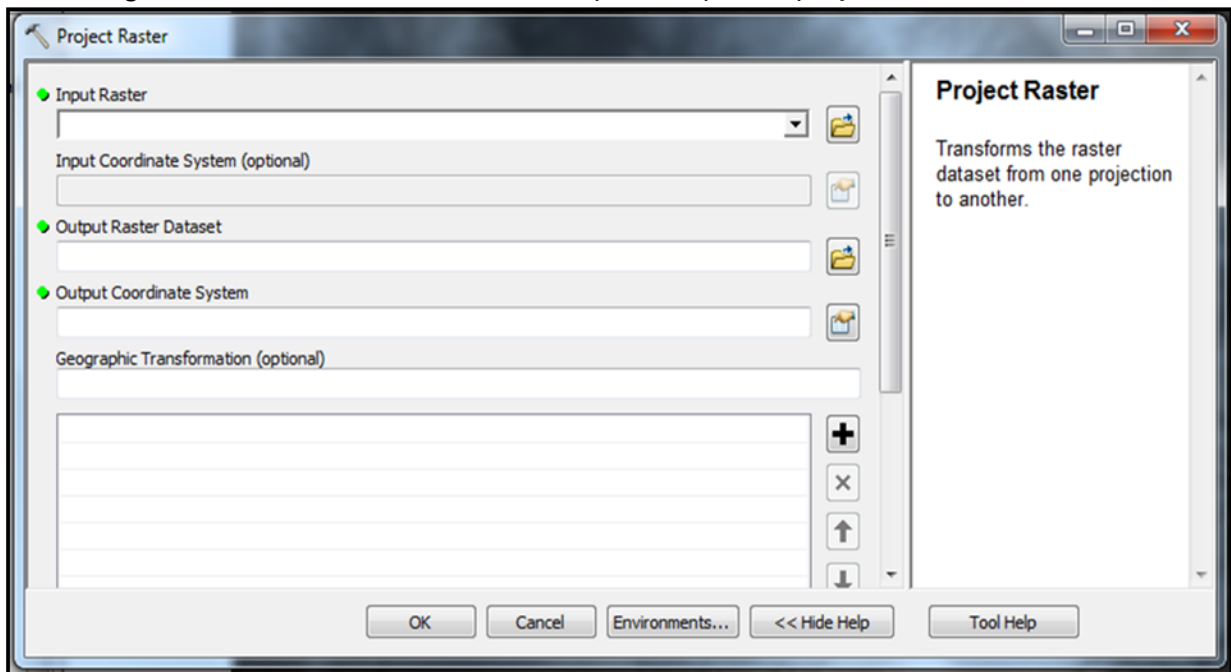
Figura 10. Ventana saliente para el recorte del DEM



La ventana saliente muestra las opciones para el corte, en este caso se debe seleccionar la opción (Extent/Data Frame Current), lo cual quiere decir que el corte se efectuara sobre el segmento que se visualiza en la vista actual del ArcMap, en este caso sobre el área que cubre la zona de estudio; de esta manera se evitara cortes sinuosos que afectan los datos originales del raster.

El siguiente paso consiste en reproyectar el corte o DEM de salida, para que sea posible realizar los procedimientos de generación de los modelos de Sombras y Pendientes. Este proceso se realiza desde (ArcToolbox/Data Management Tools/Projections and Transformations/Raster/Project Raster), donde se debe seleccionar en la opción (Output Coordinate System/Projected Coordinate Systems/National Grids/South America/Colombia/ MAGNA_Colombia_Bogota), todo depende de la zona en la que se encuentre la área de trabajo.

Figura 11. Ventana de salida de las opciones para reprojectar el corte del DEM



11.2. ADECUACIÓN DE LA BASE DE DATOS

Se crearon dos geodatabase llamadas AREA_1 y AREA_2; cada una contiene un Feature Dataset AREA_TRABAJO_1 y AREA DE TRABAJO_2, ambos Dataset se encuentran configurados en la proyección Magna Sirgas, origen Bogota para el área 1, figura y origen oeste para el área 2 (

Figura 12)

Figura 12. Sistema de coordenadas para Feature Dataset AREA_TRABAJO_1

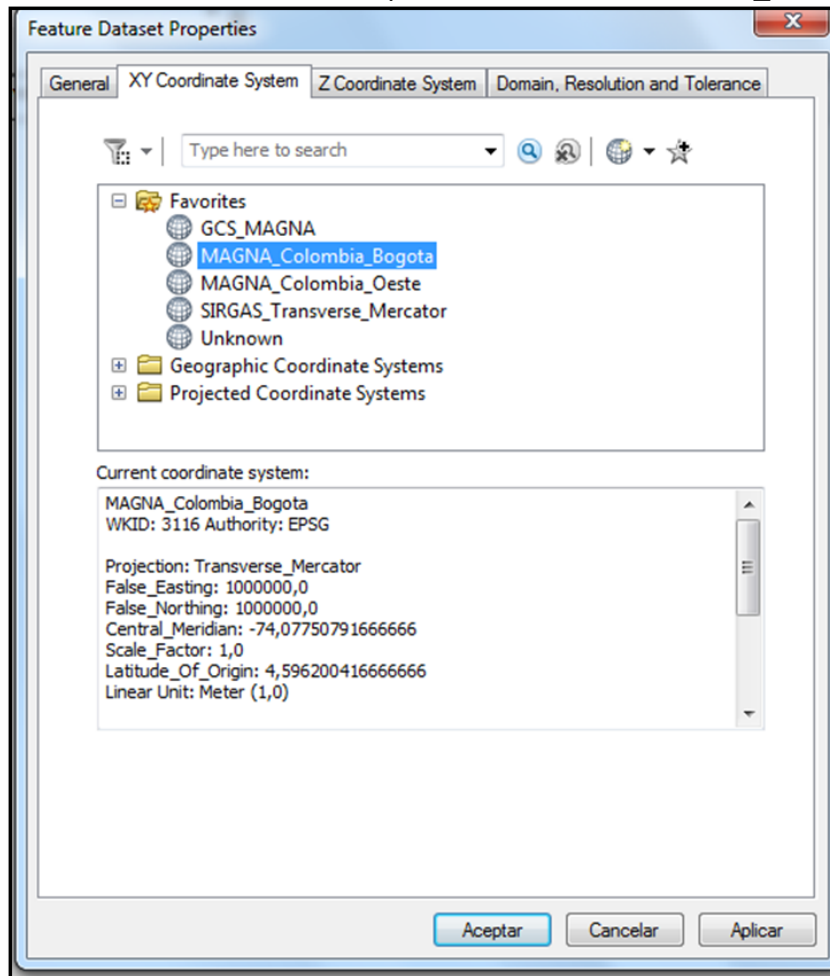
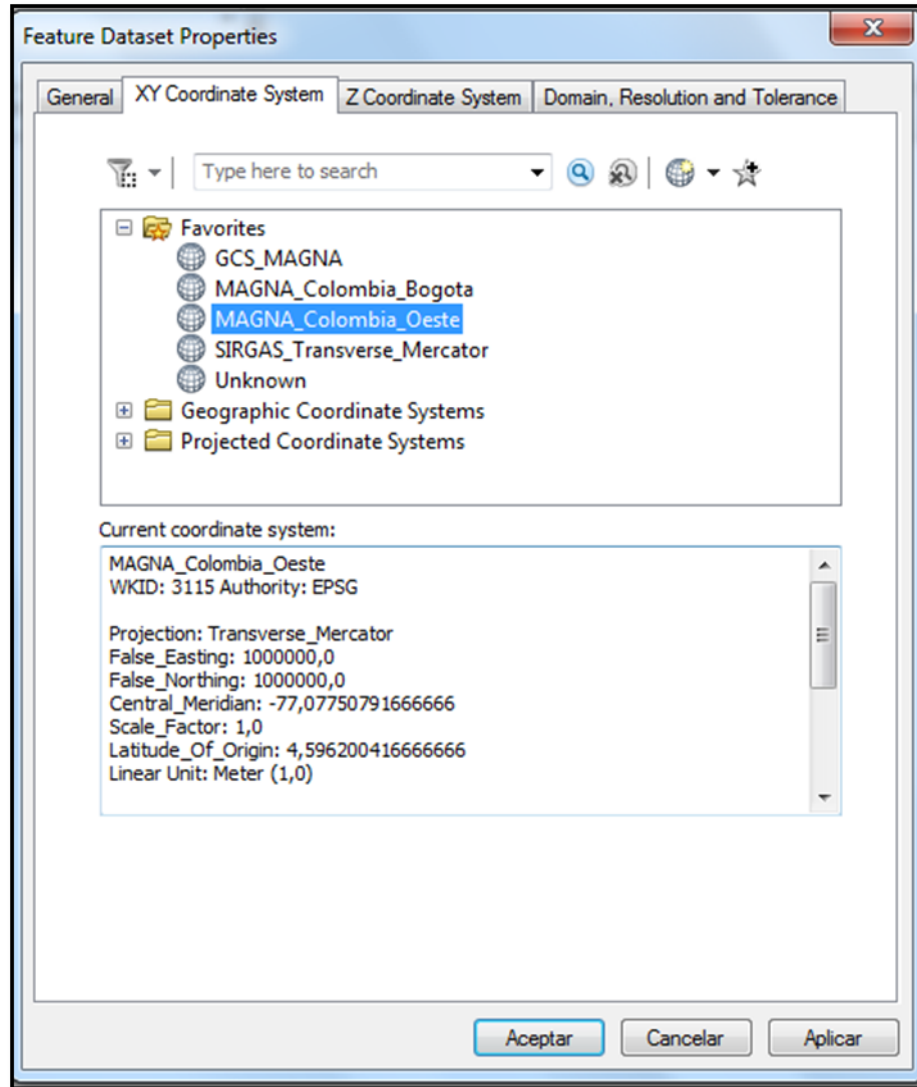


Figura 13. Sistema de coordenadas para Feature Dataset AREA_TRABAJO_2



Cada Dataset contiene dos Feature Class tipo polígono, denominados DELIMITACION_AREA_ y GEOMORFOLOGIA_AREA_, como ejemplo se muestran los atributos del área 1. (Tabla 2)

Tabla 2 Atributos feature class GEOMORFOLOGIA_AREA_1

Personal Geodatabase		AREA_1.mdb		Dataset	AREA_TRABAJO_1
Objeto	Feature Class	Tipo	Polígono	Nombre	GEOMORFOLOGIA_AREA_1
Descripción				Unidades geomorfológicas	

ATRIBUTO	TIPO	DOMINIO	DESCRIPCIÓN
PAISAJE	short Integer	PAISAJE	Macro unidad geomorfológica
AMBIENTE	short Integer	AMBIENTE	Ambiente geomorfológico al cual pertenece la unidad
Glacio-estructural	short Integer	Glacio-estructural	Origen del ambiente de la unidad geomorfológica
Glacio-volcánico	short Integer	Glacio-volcánico	Origen del ambiente de la unidad geomorfológica
Deposicional	short Integer	Deposicional	Origen del ambiente de la unidad geomorfológica
TIPO DE RELIEVE	short Integer	TIPO DE RELIEVE	Subdivisión del paisaje clasificado por su morfogénesis, condicionado por el ambiente
FORMA DE TERRENO	short Integer	FORMA DE TERRENO	suma del proceso de modelado y la calificado por el material de la unidad
MATERIALES	short Integer	MATERIALES	Material geológico para cada unidad geomorfológica
SIMBOLO	short Integer	MATERIALES	Código que identifica a cada uno de las unidades

Tabla 3 Atributos objetos raster

Objeto	Raster	Pixel size	30x30
Nombre	Descripción		
DEM	Modelo digital de elevación (DEM)		
Sombras	Modelo de sombras generado a partir del DEM		
Pendientes	Pendiente del terreno generado a partir del DEM		
Nombre	Descripción		
Plancha	Plancha geológica para el área		
Imagen	Imagen satelital para el área		

Se definieron dominios para cada una de las geodatabase los cuales son utilizados para la clasificación del ambiente y de las diferentes unidades geomorfológicas, así como para las calificaciones de la unidad.

Tabla 4 Descripción de los dominios de la Geodatabase AREA_1

Name Domain Type	Description	Field Type	Domain Type
PAISAJE	Macro unidad geomorfológica	Short Integer	Coded values

AMBIENTE	Ambiente geomorfológico al cual pertenece la unidad	Short Integer	Coded values
TIPO DE RELIEVE	Subdivisión del paisaje clasificado por su morfogénesis, condicionado por el ambiente	Short Integer	Coded values
FORMA DE TERRENO	suma del proceso de modelado y calificado por el material de la unidad	Short Integer	Coded values
MATERIALES	Material geológico para cada unidad geomorfológica	Short Integer	Coded values
SIMBOLO	Código que identifica a cada uno de las unidades	Short Integer	Coded values
Glacio-estructural	Origen del ambiente de la unidad geomorfológica	Short Integer	Coded values
Glacio-volcánico	Origen del ambiente de la unidad geomorfológica	Short Integer	Coded values
Deposicional	Origen del ambiente de la unidad geomorfológica	Short Integer	Coded values

También fue necesario la creación de subtipos para facilitar el diligenciamiento de la tabla de atributos de las unidades geomorfológicas, además de crear un dominio para la selección del atributo “AMBIENTE”, se creó en este mismo campo un subtipo que permite que el dominio del atributo “TIPO DE RELIEVE” varíe de acuerdo a la selección realizada en el campo “AMBIENTE”. Por ejemplo, si se elige el valor Glacio-estructural en el campo AMBIENTE, el campo TIPO DE RELIEVE desplegará los valores del dominio Glacio-estructural.

El objeto de definir los atributos de los diferentes elementos geomorfológicos fue lograr la correcta identificación y representación gráfica de los elementos que conforman las capas. Se definió un esquema de codificación basado en los análisis de las características (Tabla 4) comunes de los objetos geomorfológicos, que dio como resultado un sistema flexible de códigos que permite la incorporación de nuevos elementos dentro de las categorías establecidas, manteniendo la identidad del elemento y su característica principal.

11.3. PROCESAMIENTO DIGITAL DE LOS PRODUCTOS DE SENSORES REMOTOS

Teniendo el DEM reproyectado es posible continuar con la generación de los modelos de Sombras y Pendientes. Estos modelos se obtienen a partir del procesamiento del Modelo de Elevación Digital siguiendo el procedimiento (Arctoolbox/Spatial Analyst

Tools/Surface/Hillshade). En la ventana saliente es posible ajustar tanto el azimut como la altitud en que la luz incide en la superficie del modelo.

11.4. MODELO DE SOMBRAS: HILLSHADE

Esta herramienta permite una comprensión inmediata de las formas del relieve, permitiendo resaltar elementos geomorfológicos o estructurales que no podrían ser identificados fácilmente en la luz natural (Figura 15). El modelo tiene patrones de luz y sombra que pueden mostrar una superficie cuando es iluminada desde un cierto ángulo, y fue muy útil para mejorar la percepción de profundidad de la superficie trabajada.

Figura 14 Opciones para crear el modelo de sombras con la herramienta Hillshade

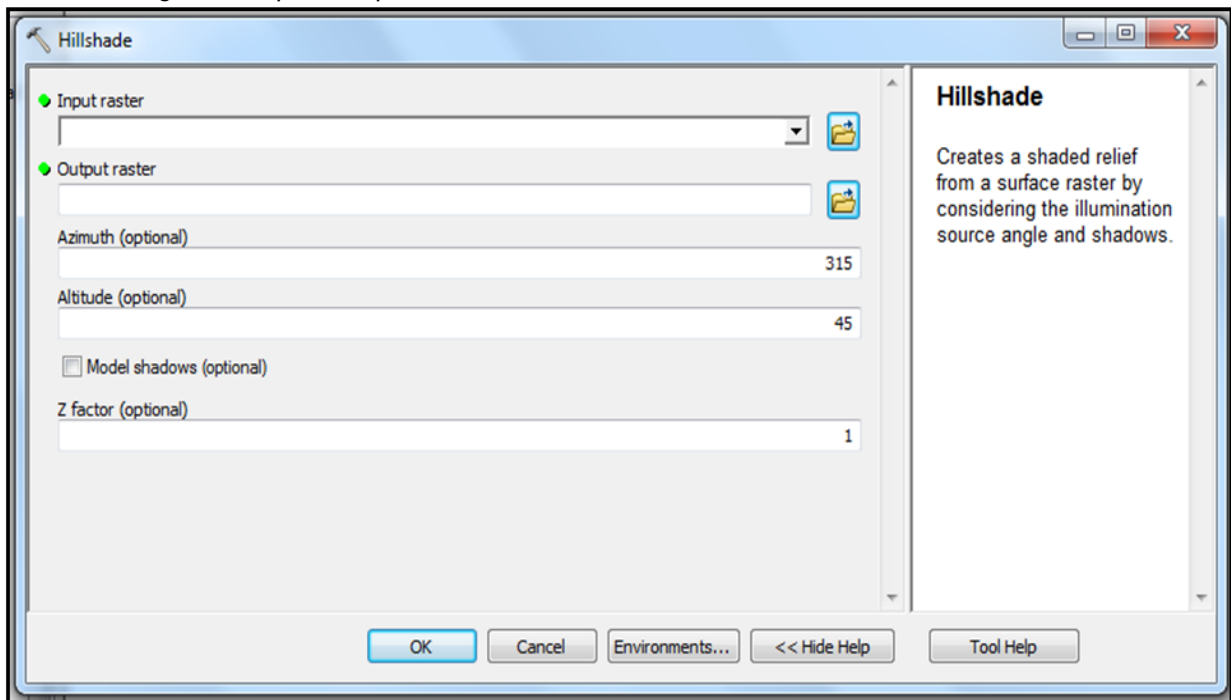
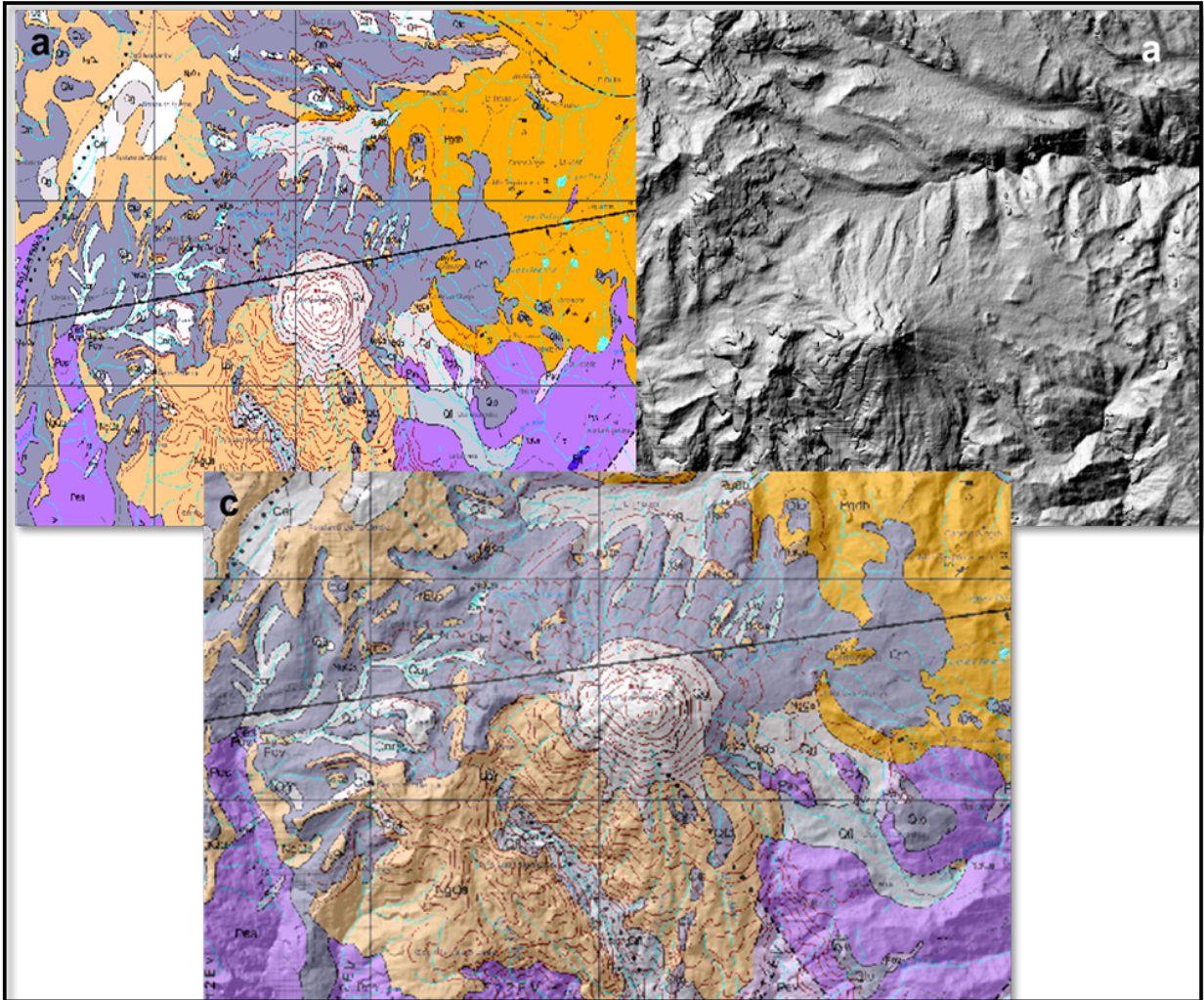
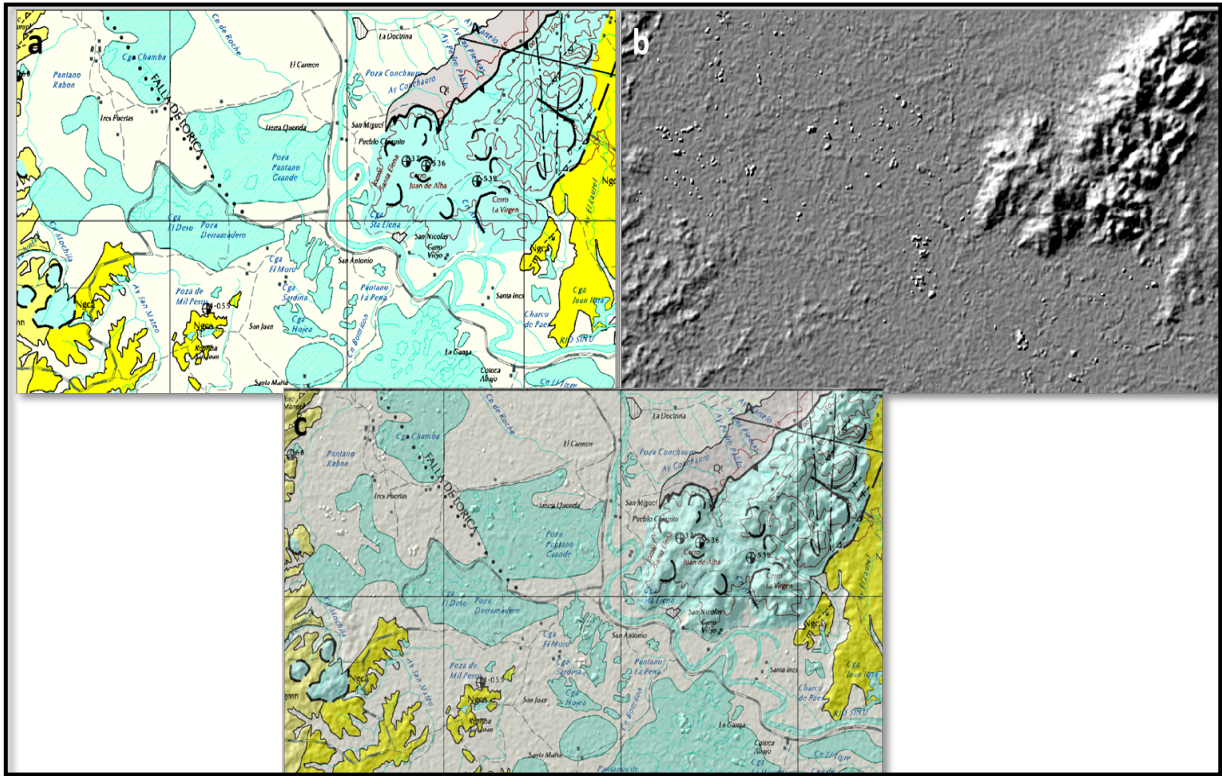


Figura 15. Ejemplo del uso del modelo de sombras área 1; a) geología con 0% de transparencia; b) modelo de sombra; c) geología con 40% de transparencia superpuesta al modelo de sombras.



En esta figura se puede observar la diferencia entre visualizar un mapa geológico con un sombreado semi transparente, o sin él, la comprensión del relieve es notablemente más fácil, con el sombreado. Este efecto también funciona muy bien sobre imágenes satelitales, incluso en con las pendientes o del mismo DEM.

Figura 16 Ejemplo del uso del modelo de sombras área 2; a) geología con 0% de transparencia; b) modelo de sombra; c) geología con 40% de transparencia superpuesta al modelo de sombras



11.5. MODELO DE PENDIENTES

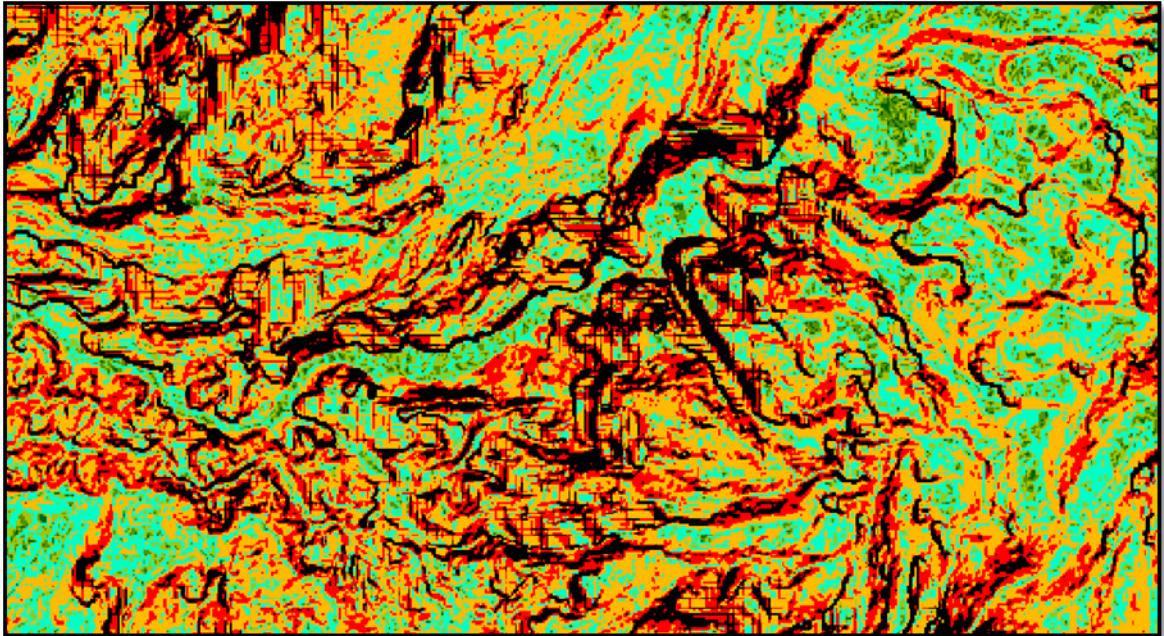
El modelo de pendientes es una variable cuantitativa y continua, derivada del DEM. Los rangos de pendientes empleados en esta variable corresponden a los rangos de inclinación propuestos en la (Tabla 1) Sin embargo de acuerdo con las condiciones que se requiera, se pueden ajustar con el fin de visualizar, detallar o discriminar los rasgos. (Figura 17) muestra el ejemplo del modelo de pendientes para el área 1.

Tabla 5 Rangos de Pendiente para su reclasificación

INCLINACION (porcentaje)	DESCRIPCION
0-3	Plana a suavemente inclinada
3-7	Inclinada.
7-12	Muy Inclinada

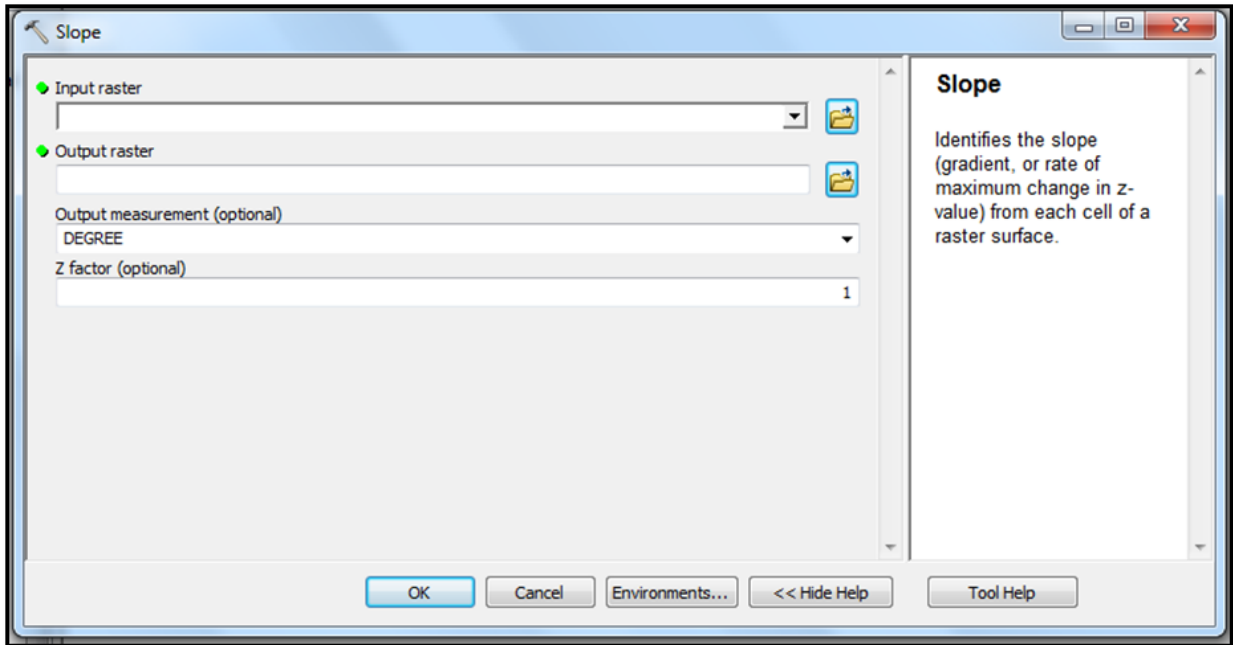
12-25	Abrupta.
25-50	Muy abrupta
50-75	Escarpada.
> 75	Muy Escarpada

Figura 17. Modelo de pendientes para el área 1.



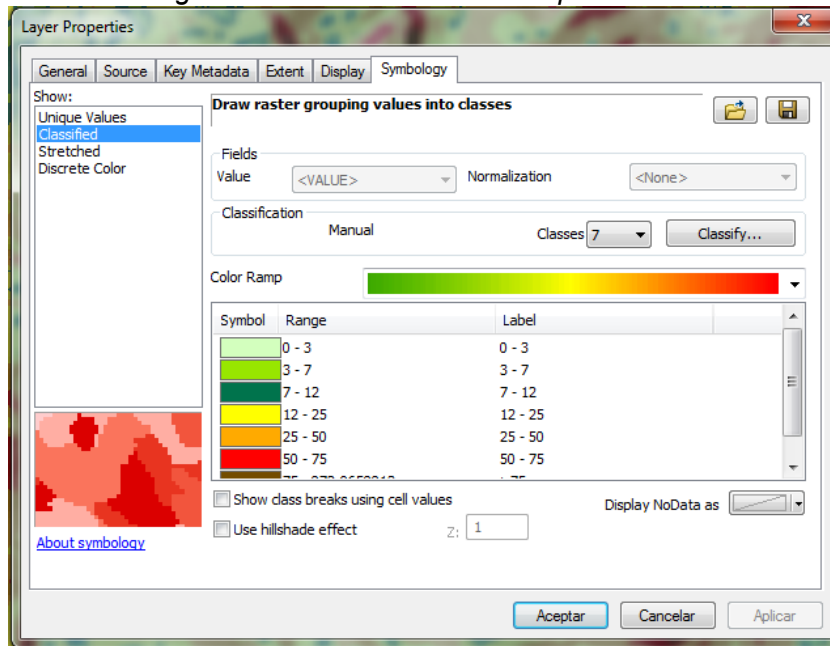
El modelo de pendientes se obtiene a partir del procesamiento del Modelo de Elevación Digital siguiendo el procedimiento (Arctoolbox/Spatial Analyst Tools/Surface/Slope). En la ventana saliente es posible ajustar la unidad en la que se desea la salida (Raster) ya sea en grados o porcentaje de la pendiente.

Figura 18. Opciones para crear el modelo de pendientes con la herramienta Slope



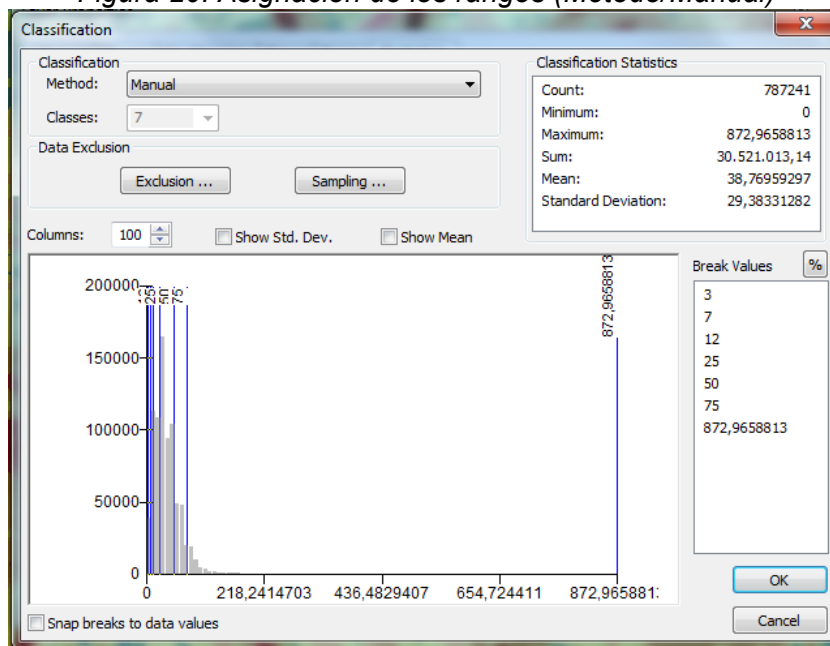
Para definir los valores de pendientes para el modelo final se debe realizar un proceso de reclasificación. En este caso se definen 7 rangos de pendientes expresados en porcentaje, los que están en función con las características del relieve. Definidos los intervalos, para el modelo de pendientes, se procede a la reclasificación (Click derecho sobre el modelo generado/Properties/Symbology/Classified) y en la ventana saliente (Click en la pestaña Classify).

Figura 19. Clasificación de las pendientes



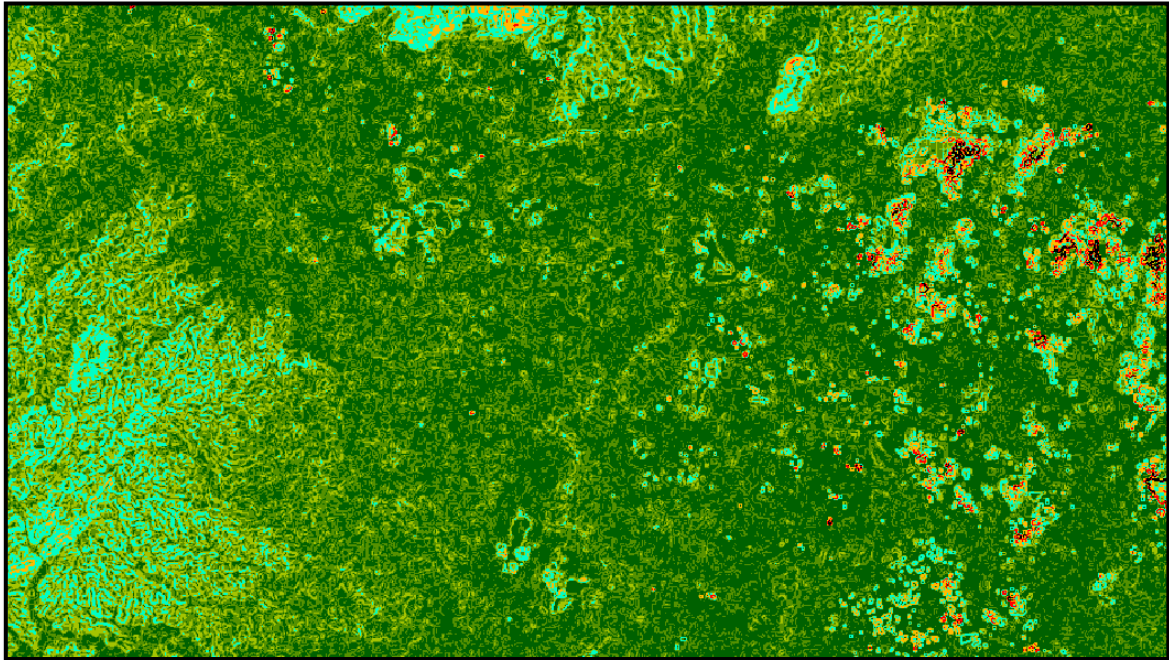
Y finalmente en la ventana saliente se procede a realizar la nueva clasificación (Método/Manual) y a realizar la asignación de los rangos. (Figura 20)

Figura 20. Asignación de los rangos (Método/Manual)



Generalmente se simbolizan en tonos rojos las zonas de mayor pendiente y en verdes las zonas más planas.

Figura 21 Modelo de pendientes para el área 2.



Es de mencionar lo que sucede en el área 2 cuando se genera el modelo pendientes, se pueden apreciar altas pendientes que no existen (Figura 22), esta distorsión el terreno se debe a errores generados en el sensor por los espejos de agua (Figura 23). Y es un error con el que se debe tener mucho cuidado y más en zonas donde la topografía es tan plana con este caso.

Figura 22. En recuadro de la imagen se puede observar la zona con distorsión

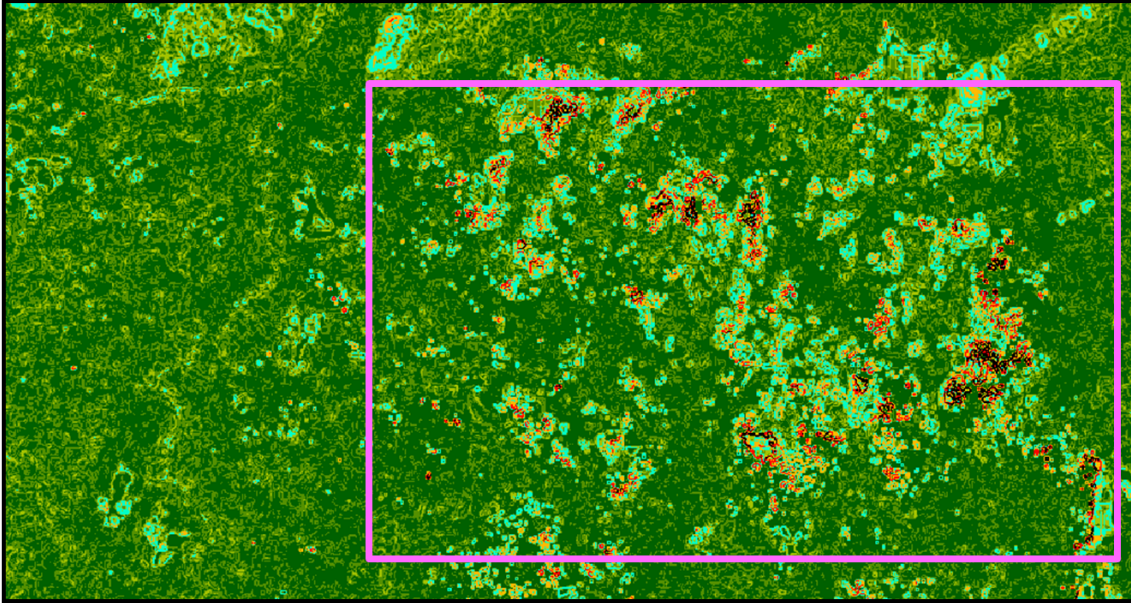
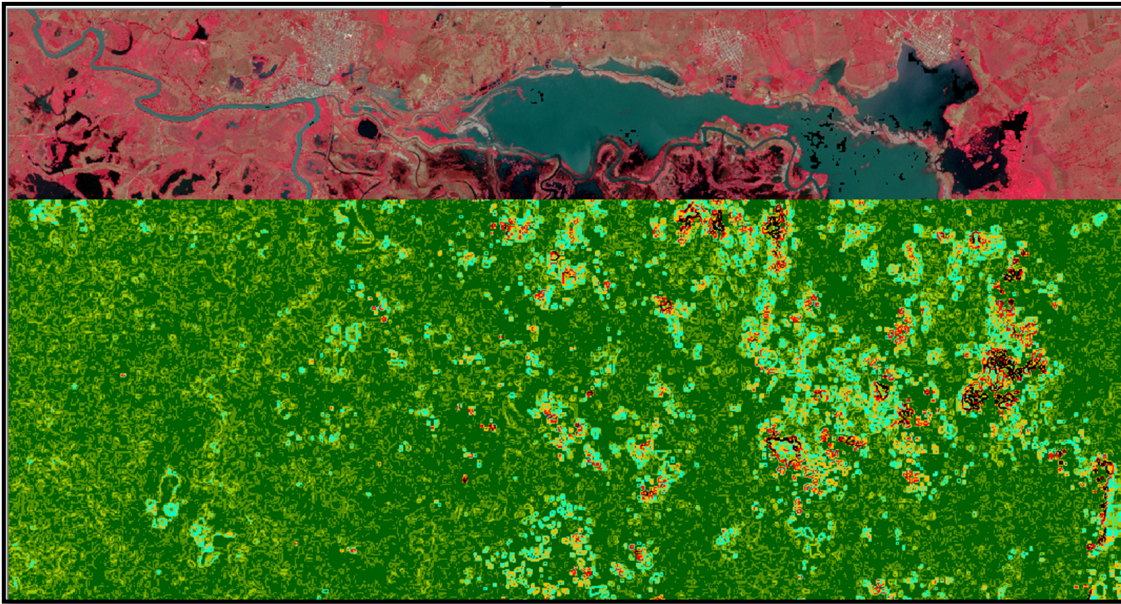


Figura 23. Espejo de agua que genera errores de distorsión el DEM



11.6. DESPLIEGUE DE IMÁGENES SATELITALES

Las combinaciones de bandas fueron, para Spot 123 y para RapidEye RGB 532; esta combinación corresponde al “falso color infrarrojo”. Todos los tonos de rojo, desde el rojo muy oscuro al rosado pálido corresponden a vegetación: los tonos más oscuros se

relacionan con la presencia de vegetación arbórea densa, como bosques y montes, los rojos claros indican cultivos y praderas vigorosas, los rosados corresponden a vegetación poco densa como pasturas naturales. El celeste corresponde a suelo desnudo, seco o áreas rocosas. El azul-celeste puede corresponder a zonas urbanas. El azul *cian* a negro se relaciona con agua clara en cursos o cuerpos de agua. Los colores verdes a verde grisáceo corresponden a parcelas aradas o suelos descubiertos con mayor o menor contenido de humedad.

Figura 24. Selección de bandas 5, 3,2, para imagen Rapideye

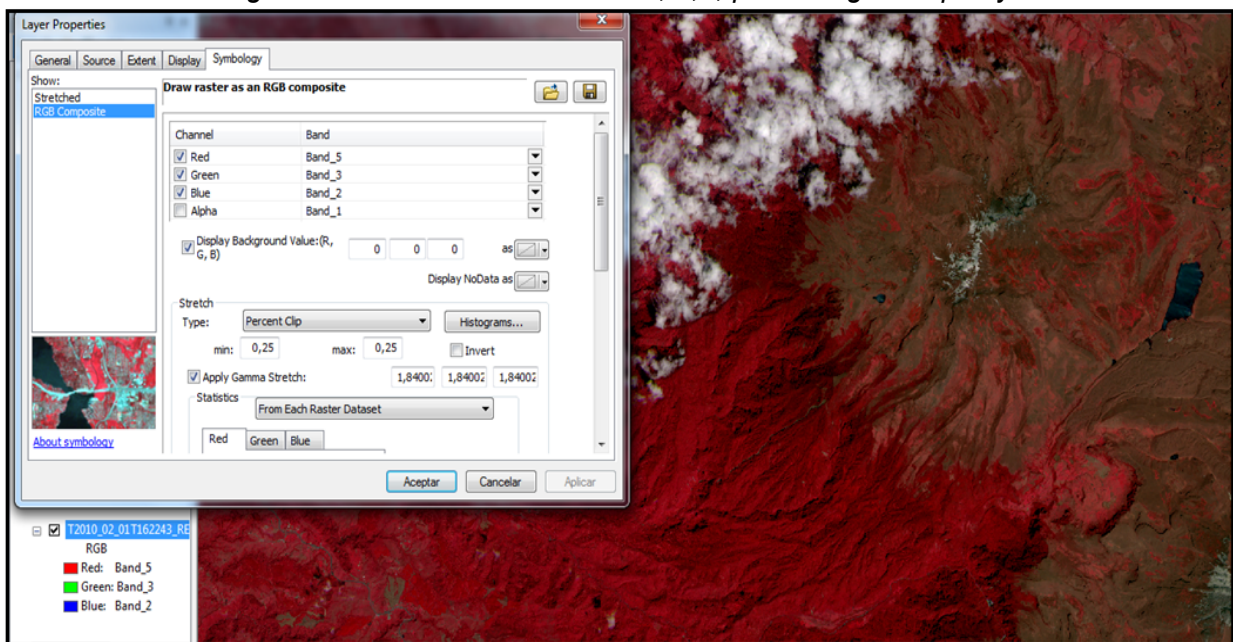
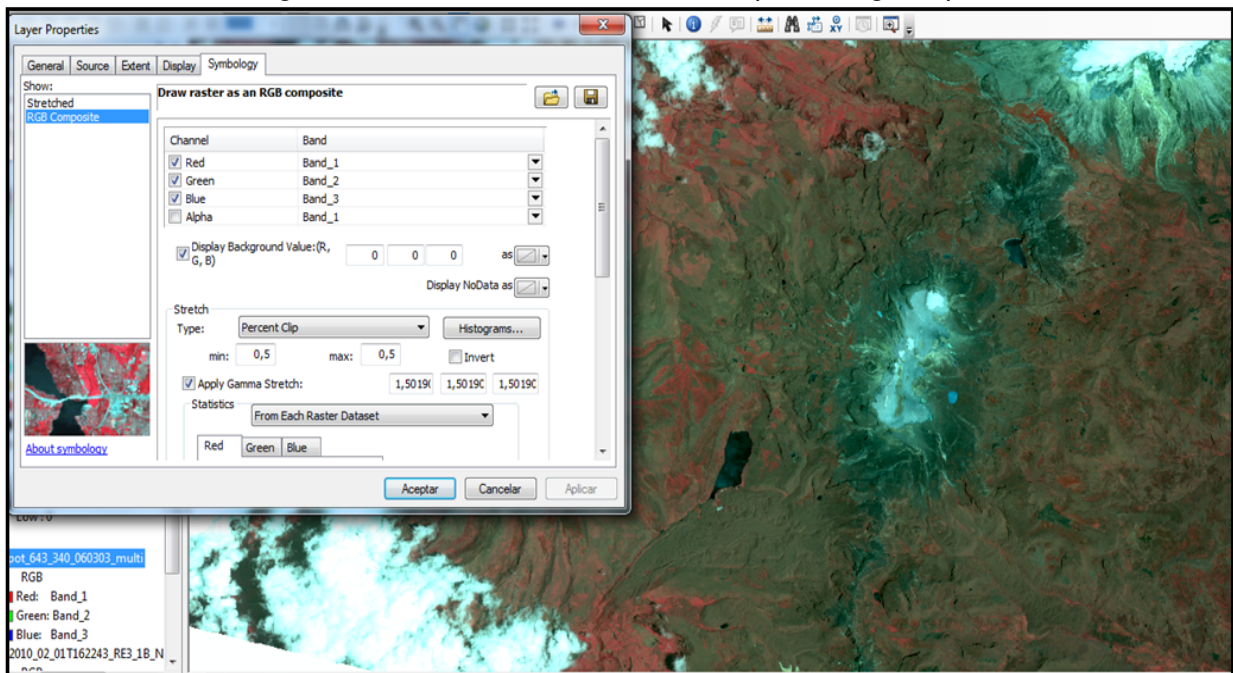


Figura 25. Selección de bandas 1,2,3, para imagen Spot.



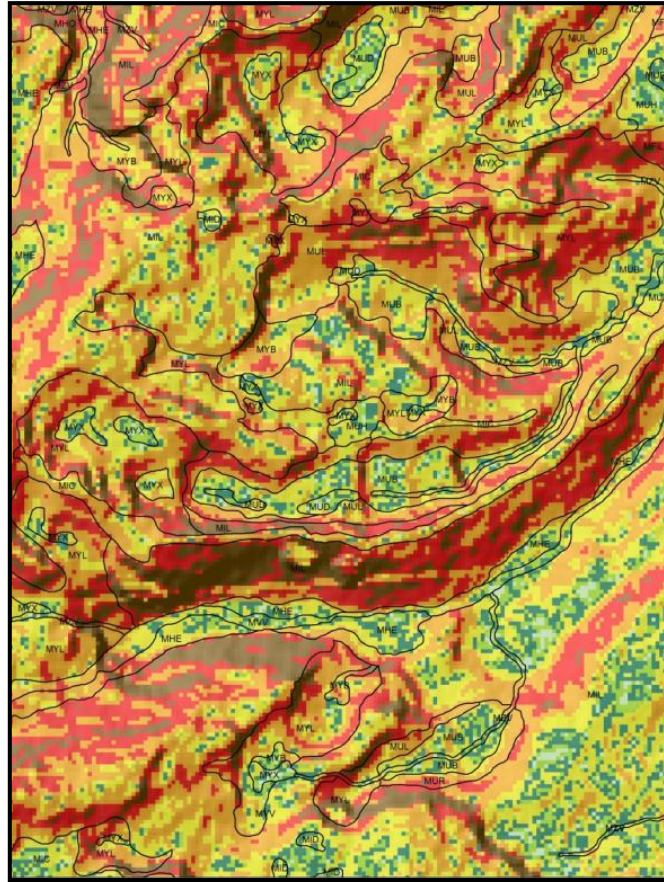
Uno de los procedimientos dentro de la plataforma SIG que permite en la visualización de las geformas es la implementación del sinergismo entre las imágenes y los modelos de sombras y pendientes. Estos insumos pueden ser ajustados y realizados con métodos de visualización en el software, con la posibilidad de superponer las imágenes con transparencias sobre el modelo de sombras, lo cual es muy útil para resaltar los rasgos geomorfológicos. Otro tipo de sinergismo se puede obtener con la superposición de la información geológica e hidrográfica, que puede indicar ciertos rasgos y patrones relevantes para la clasificación geomorfológica.

Las operaciones y métodos aplicados precisan de la experticia tanto en las tecnologías geoespaciales como en la interpretación geomorfológica, ya que, el objetivo específico es la aplicación de los insumos y las herramientas a la identificación y caracterización de geformas específicas.

11.7. SINERGIA MODELO DE PENDIENTES /SOMBRAS

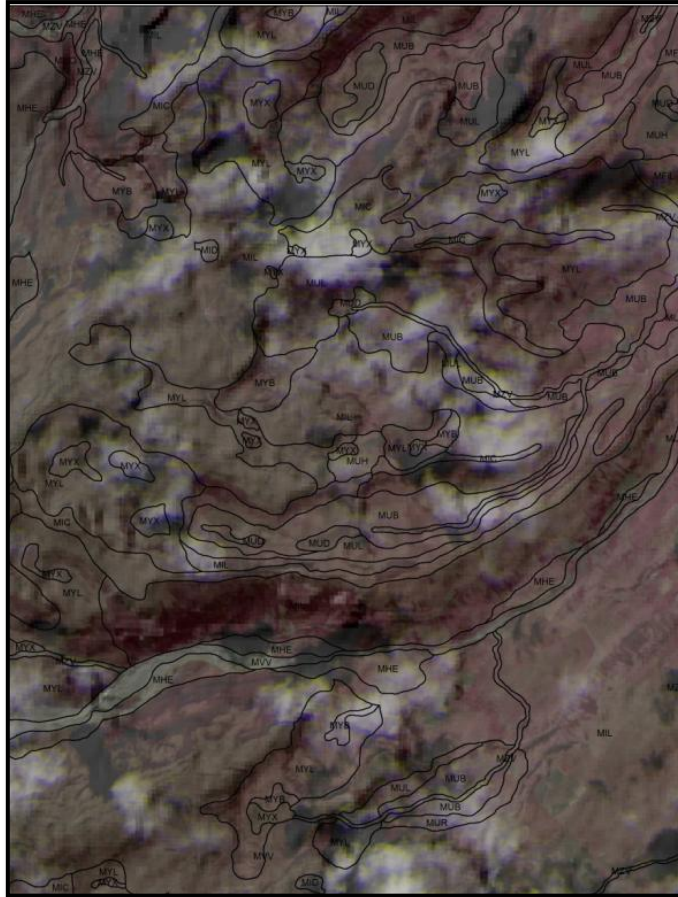
El modelo de pendientes se utiliza reclasificado y con un 40% transparencia. El uso de este modelo favorece la ilustración de la topografía y esto ayuda a la interpretación de la morfología del terreno y de las morfoestructuras, lo que permite dar como resultado la identificación y clasificación de unidades geomorfológicas.

Figura 26. Imagen representativa de sinergia modelo de pendientes /Sombras para el área 1.



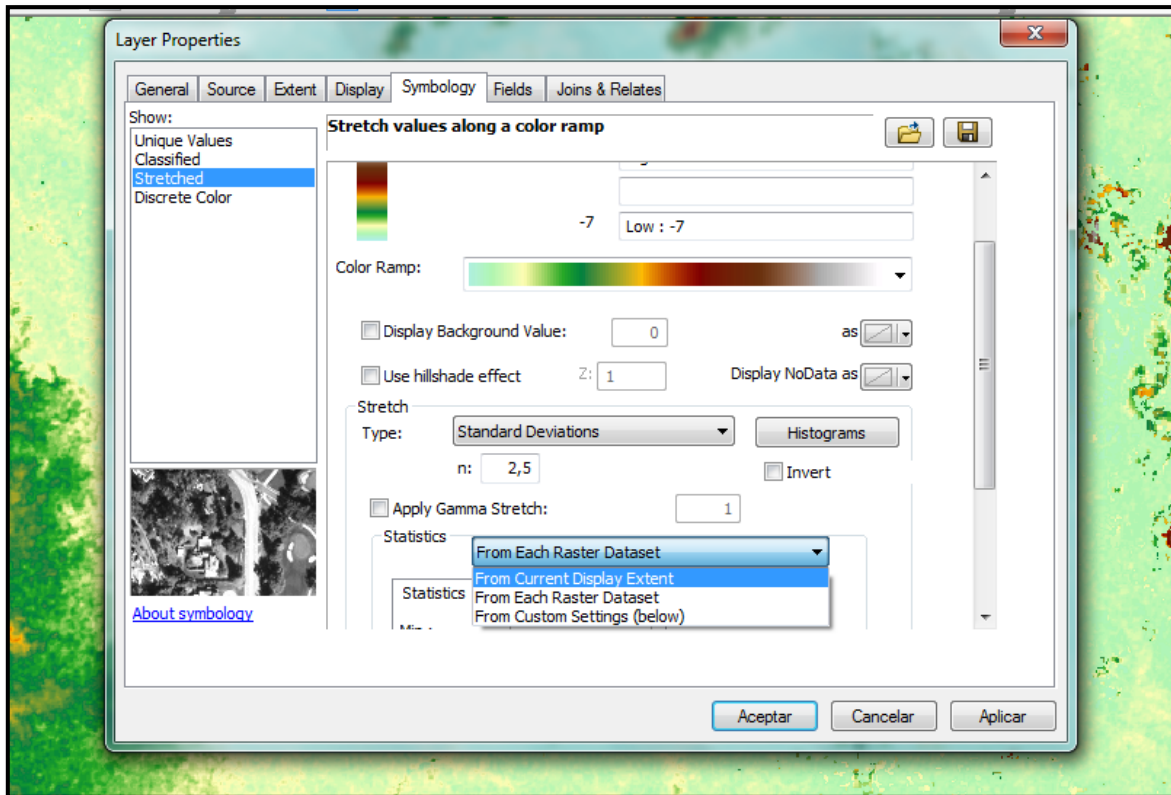
Es muy notorio que el uso de este sinergismo es mucho más útil en el área 1 que el área 2 (Figura 27). Esto se debe en gran parte a la topografía y a la resolución del DEM es no es la más adecuada para este tipo de relieves; pero no por esto deja de ser una herramienta útil ya que con ella se puedo determinar las unidades macro como el paisaje y el ambiente.

Figura 28. Imagen representativa de sinergia imagen /Sombras para el área 1.



La implementación de este sinergismo para el área 2, fue muy útil ya resalta un poco más geformas que necesitan un poco más de detalle para su delimitación.

Figura 32. Uso de la herramienta Stretch en el DEM



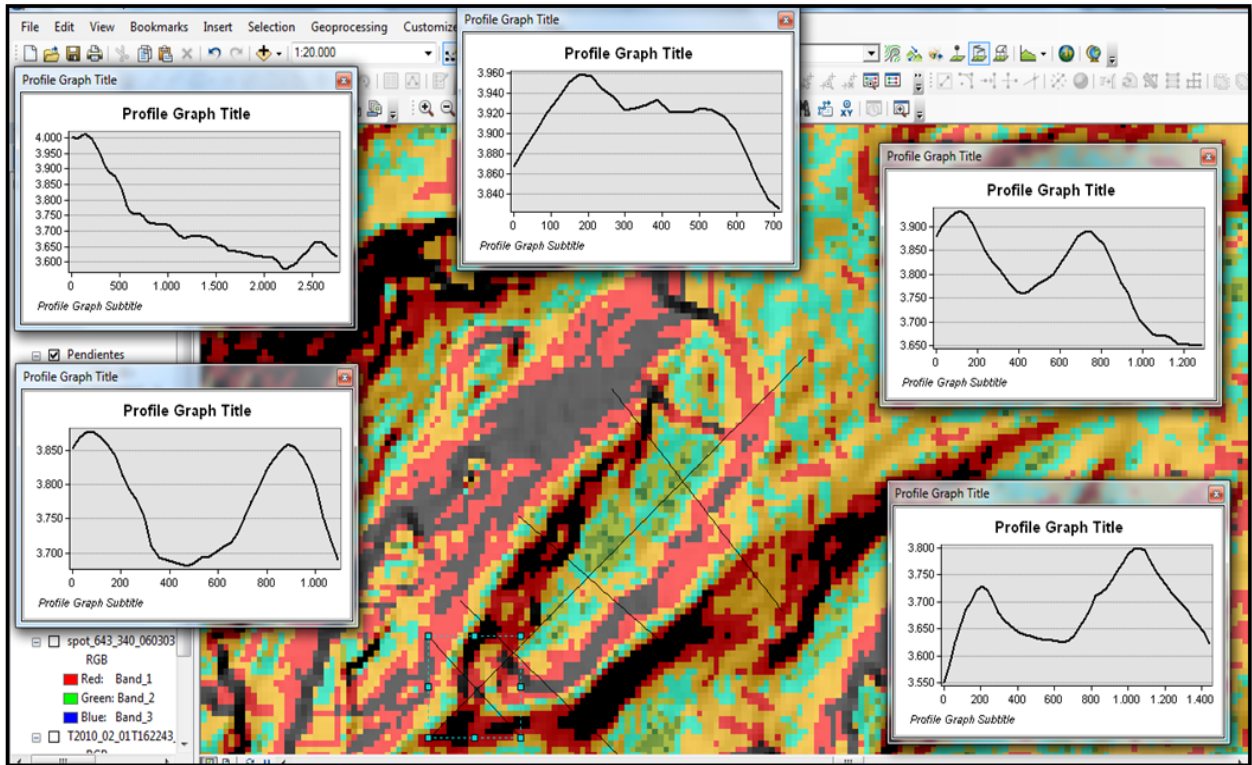
11.10. VERIFICACIÓN Y AJUSTE

Con la Interpretación de imágenes de satélite sobrepuestas con el modelo de sombras y el modelo de pendientes, se pudo obtener una visión general de la geomorfología de las áreas de trabajo. Igualmente se definieron y delimitaron las unidades y subunidades geomorfológicas discriminadas por ambientes, y los rasgos del relieve y la forma del terreno más sobresalientes.

Para la definición y delimitación de las unidades geomorfológicas, se utilizó el trazado de perfiles, para diferenciar los cambios de pendiente, analizar la litología, estructuras geológicas tales como buzamientos, pliegues y lineamientos. El trazar estos perfiles longitudinales se convierte en una extraordinaria herramienta, que pueden generar varios segmentos, en distintas direcciones en forma de gráficos.

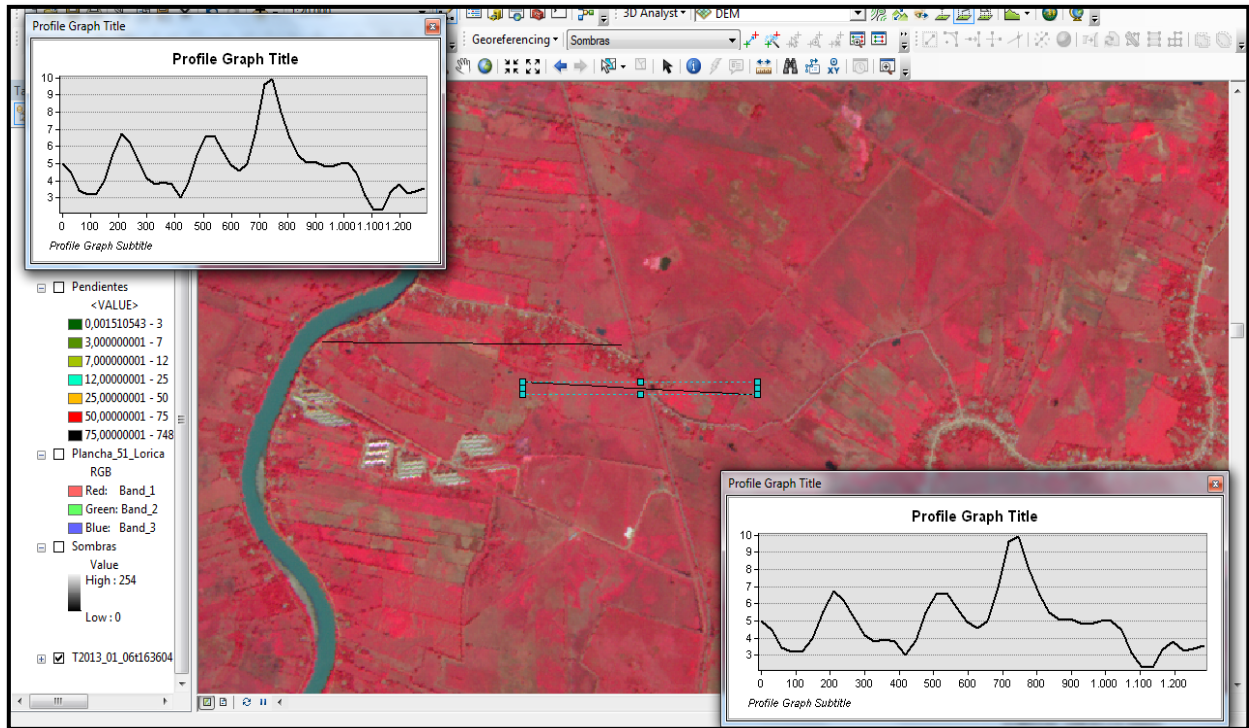
Para áreas muy planas con el caso del área 2 (Figura 34), no siempre son muy claros, es cuestión de cuidado y tomar los elementos que son útiles, pero la información que se extraiga de ellos se suma a para la determinación por donde será el trazado de las unidades.

Figura 33. Trazo de diferentes perfiles longitudinales para delimitar un Circo en el área 1



En el análisis de la información geológica es importante identificar las diferentes unidades litológicas, respecto a su ambiente de formación, composición litológica, expresión morfológica y los elementos estructurales como las fallas, que sirven como ayuda en la identificación y delimitación de las diferentes unidades geomorfológicas.

Figura 34. Trazo de diferentes perfiles longitudinales para delimitar el límite entre un albardón y una napa



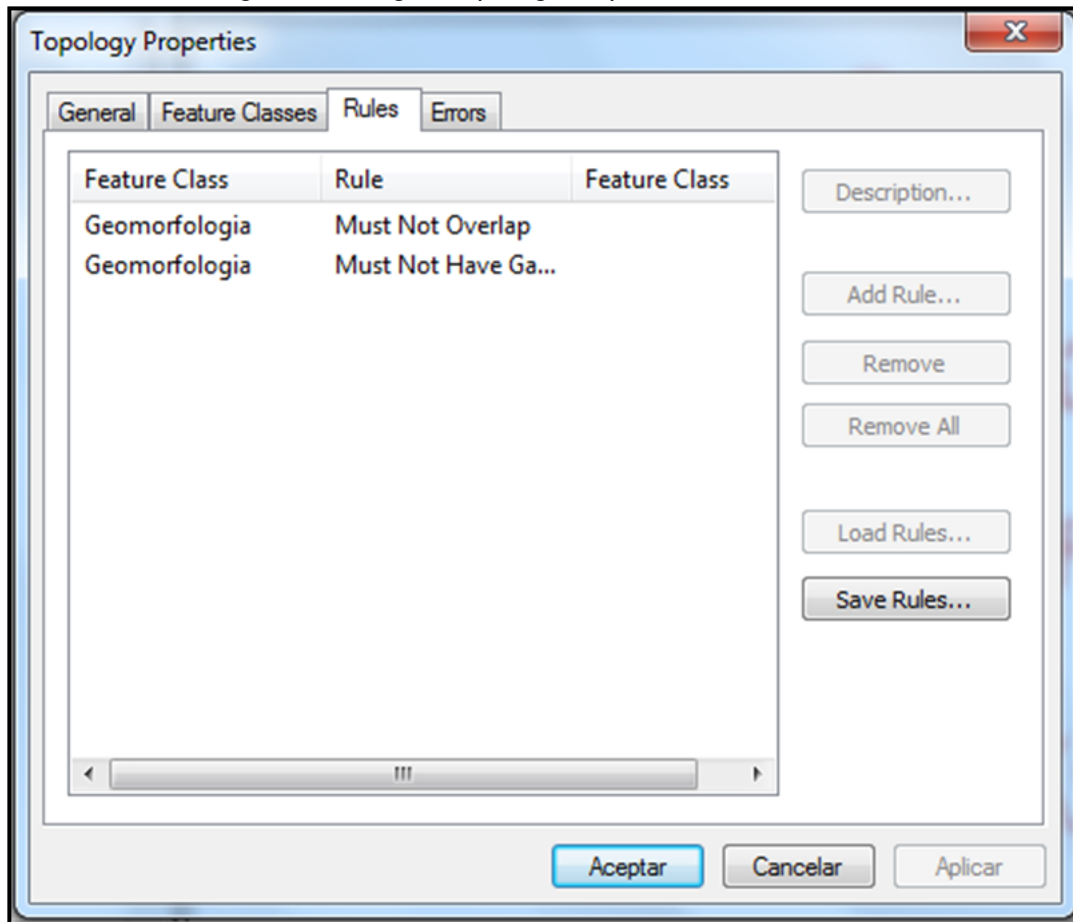
11.11. ELABORACIÓN DEL MAPA

La totalidad del trabajo se concentró en la digitalización definitiva con alta precisión en el trazado en el dibujo, con el fin de representar con la mejor exactitud las unidades visualizadas. Después de tener las unidades geomorfológicas bien definidas se procedió a la edición y ajustes de los atributos geomorfológicos siguiendo la aplicación de la leyenda; para un diseño final del mapa se llena la tabla de atributos asignados con cuidado de no cometer errores en la entrada de información.

Para tener certeza de una buena calidad en el producto final se generó una revisión topológica (Figura 35) de las unidades, lo que evita tener polígonos adyacentes entre unidades, espacios vacíos o sobreposición de polígonos.

La topología es un tipo especial de capa que tiene capacidades diferentes en comparación con las capas regulares. Los resultados de esta herramienta son clases de entidades estándar, que permiten seleccionar los errores de forma interactiva a través de una consulta (query). Los feature class resultantes contienen los errores de las geometrías junto con los atributos de la regla de topología que ha sido infringida, definiendo cual es la causa del error, y si el error se ha marcado como una excepción.

Figura 35. Reglas topológicas para los feature class



12. CONCLUSIONES

- Se interpretó mediante el uso de la plataforma SIG dos áreas del país de geomorfología diferente con una extensión total de 1257 Km², y se obtuvo como resultado el mapa geomorfológico para ambas áreas, donde se identificaron cinco diferentes ambientes.
- El procedimiento metodológico seguido y la disponibilidad de herramientas e insumos de alta resolución como las imágenes satelitales utilizadas, facilitan la identificación de los rasgos geomorfológicos a la escala requerida en el trabajo.
- El Modelo Digital de Elevación fue un instrumento de gran utilidad para determinar macro unidades geomorfológicas, ya que es una representación exacta del terreno.
- El Modelo Digitales de Elevación de acuerdo a su resolución espacial puede ser más o menos útil, ejemplo de ellos fue su uso en la área 2, la cual es de topografía muy plana. Para esta área el DEM no fue tan preciso.
- Realizar una cartografía geomorfológica se puede desarrollar con cierta facilidad con base en la interpretación de las imágenes de sinergismo Rapideye o Spot con el modelo de sombras. Esta información puede ser confrontada con el modelo de elevación y el de pendientes.
- El sinergismo modelo de pendientes o modelo de elevación con el modelo de sombras es más representativo para áreas de montaña que en áreas de planicie.
- Se debe tener mucho cuidado en el uso de productos derivados de un DEM que presente errores ya que ellos pueden enmascarar características del terreno.

13. RECOMENDACIONES

- Se propone el uso de herramientas SIG, para aplicar a estudios similares, ya que se puede obtener información inmediata con respecto a las variaciones que se presenten en el terreno, y permite tener actualizadas las bases de datos, con la finalidad de monitorear los cambios en la geomorfología.
- Como resultado del proceso de interpretación de las unidades geomorfológicas algunas de las dificultades que se observaron en el proceso es que se requiere la formación permanente de profesionales en el área de la SIG para esto, se considera necesario el fortalecimiento en los centros académicos que brindan la formación de intérpretes especializados.
- Es recomendable y de gran importancia que las entidades públicas y privadas, tanto administrativas como académicas hagan uso de los avances metodológicos y los conocimientos obtenidos a través de años de avance en estudios geomorfológicos, lo cual puede generar nuevos elementos para la definición de bases técnicas.

14. BIBLIOGRAFÍA

- BAKKER X. (2005). *Taller: Análisis y modelamiento espacial*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá.
- CARVAJAL, J.H, (2008). *Primeras aproximaciones a la estandarización de la geomorfología en Colombia*. Documento SGC, Bogotá.
- GUTIÉRREZ PUEBLA, J. y GOULD, M. (1994). *SIG: Sistemas de Información Geográfica*. Madrid.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. (2010). *Sistemas morfogénicos del territorio Colombiano a escala 1:500.000*. Bogotá.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. (2013). *Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000*. Bogotá.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI.(2004). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Caldas y Risaralda*. Bogotá
- JAMES, M. (1986). *Estudio sismotectónico en el área del viejo Caldas*. SGC. Medellín.
- KARIN, P. (2009). *clasificación fisiográfica del terreno a partir de la inclusión de nuevos elementos conceptuales*. Bogotá
- KARIN, P (2013). *Curso de suelo, fotointerpretación*. CIAF. Bogotá,
- KARIN, P. (2014). *Conceptos básicos de Geomorfología*. Bogotá.
- OLAYA, V. (2011). *Sistemas de información geográfica*. Versión 1.0
- PÉREZ, D. J. (2007). *Introducción a los sensores remotos- aplicados en la geología curso teórico practico*. Argentina.
- SENSORES REMOTOS. (s.f.) recuperado el 20 de enero 2016, de <http://www.usgs.gov/>
- SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOLOGÍA. (2005). *Plan estratégico para el desarrollo de la geomorfología en Colombia*. Bogotá
- VELÁZQUEZ, S. (2004). *Sistemas de información aplicados al manejo de recursos naturales (Guía tutorial)*. Model Builder. Ejercicios 14.1 y 14.2. Costa Rica.
- VILLOTA, H. (1991). *Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras*. Bogotá
- ZINCK, A., (2012). *Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. Enschede, The Netherlands
- ZINCK, A., 2012. *Geopedología*, ITC, Holanda.