

**MODELAMIENTO MORFOMETRICO Y ANALISIS MULTITEMPORAL DEL USO
DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL DE LA SUBCUENCA DEL RIO
MOLINO UBICADA EN EL MUNICIPIO DE POPAYAN, DEPARTAMENTO DEL
CAUCA, UTILIZANDO LA METODOLOGIA CORINE LAND COVER CON
IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS.**

JAIRO DAVID GRANDE MEDINA



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2015**

**MODELAMIENTO MORFOMETRICO Y ANALISIS MULTITEMPORAL DEL USO
DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL DE LA SUBCUENCA DEL RIO
MOLINO UBICADA EN EL MUNICIPIO DE POPAYAN, DEPARTAMENTO DEL
CAUCA, UTILIZANDO LA METODOLOGIA CORINE LAND COVER CON
IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS.**

JAIRO DAVID GRANDE MEDINA

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

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2015**

AGRADECIMIENTOS

LISTA DE FIGURAS

Figura No 1: Elaboración diccionario de Datos	39
Figura No 2: Establecer el tipo de Geometría.	39
Figura No 3 Estructura Diccionario De Datos.....	39
Figura No 4: Landsat 4 - 1989.	41
Figura No 5: Landsat 7 - 2001.	42
Figura No 6: Landsat 8 - 2014.	42
Figura No 7: Mosaico Imagen De Radar “SRTM” 30 Metros De Colombia.....	43
Figura No 8: Área de Estudio sin Recortar	44
Figura No 9: Área de Estudio Recortada	44
Figura No 10: Herramientas Proceso de Sinergismo.....	45
Figura No 11: Resolution Merge.....	45
Figura No 12: Landsat 4 - 1989	46
Figura No 13: Landsat 7 – 2001	46
Figura No 14: Combinación 4-3-2(LandsatTM4 - 1989).....	48
Figura No 15: Combinación 4-3-2(LandsatTM7- 2001)	49
Figura No 16: Combinación 4-3-2 (Landsat 8 - 2014).....	49
Figura No 17: Tabla Signature Creación de firmas Espectrales	50
Figura No 18: Firmas Espectrales Imagen Landsat 1989.....	50
Figura No 19: Firmas Espectrales editadas Imagen Landsat 1989.....	51
Figura No 20: Agrupación Espectral	51
Figura No 21 Clasificación Supervisada Imagen LandsatTM 1989.....	52
Figura No 22: Clasificación Supervisada Imagen LandsatTM 2001.....	52
Figura No 23: Clasificación Supervisada Imagen Landsat 8 2014	53
Figura No 24 Control de Calidad	53
Figura No 25: Tabla de Recodificación.....	54
Figura No 26: Filtro Neighborhood Imagen Landsat8.....	55
Figura No 27: Filtro Clump Imagen Landsat8.....	56
Figura No 28: Filtro Eliminate Imagen Landsat8.....	57
Figura No 29 Tabla de Atributos Eliminate ImagenLandsat8	57
Figura No 30 Tabla de Atributos a Importar (Clasificación Supervisada)	58
Figura No 31: Tabla de Atributos Imagen Eliminate (Merge).....	58
Figura No 32 Filtro Eliminate Final Imagen Landsat8	58
Figura No 33Figura Vector Landsat8.....	59
Figura No 34 Cobertura Vegetal 2014.....	59
Figura No 35: Cobertura Vegetal 2014 Final.....	60
Figura No 36: Recorte Imagen de Radar “SRTM”	64
Figura No 37: Modelo De Sombreado	65
Figura No 38 Figura Corregida “Fill Sink”.....	66
Figura No 39: Direcciones de Flujo “Flow Direction”	66
Figura No 40: Acumulación de Flujo “Flow Accumulation”	67
Figura No 41: límite de la Sub cuenca Rio Molino.....	67
Figura No 42: Delimitación Red de Drenaje	68

Figura No 43: Segmentación Red de Drenaje.....	69
Figura No 44: Delimitación de las Cuencas Hidrográficas	69
Figura No 45 Divisoria de Cuencas Hidrográficas en formato Shapefile	70
Figura No 46: Red de Drenajes Subcuenca Rio Molino	71
Figura No 47: Divisoria de Cuencas Subcuenca Rio Molino	71
Figura No 48: Red de Drenajes sobre Figura Land Sat 2014.....	72
Figura No 49: Pendientes Área de Estudio.....	73
Figura No 50: Reclasificación.....	73
Figura No 51: Clasificación y No de Clases.....	73
Figura No 52: Imagen Producto del proceso de Reclasificación.....	74
Figura No 53: Imagen Reclasificada con Valores Establecidos	74
Figura No 54: Mapa de Pendientes Área de Estudio	75
Figura No 55: Mapa de Pendientes Área de Estudio con MDE	75

LISTA DE TABLAS

Tabla No 1 Ubicación Geográfica Subcuenca Rio Molino.....	15
Tabla No 2 Coberturas Corine Land Cover Área de Estudio.....	48
Tabla No 3: Cobertura y Uso del Suelo Año 1989.....	76
Tabla No 4: Cobertura y Uso del Suelo Año 2001.....	76
Tabla No 5: Cobertura y Uso del Suelo Año 2014.....	77
Tabla No 6: Diferencias anuales en los cambios de coberturas y usos del suelo.	77

LISTA DE MAPAS

MAPA No 1 UBICACIÓN ESPACIAL SUBCUENCA RIO MOLINO	16
MAPA No 2: Cobertura Vegetal Año 1989.....	61
MAPA No 3: Cobertura Vegetal Año 2001.....	62
MAPA No 4: Cobertura Vegetal Año 2014.....	63

LISTA DE ANEXOS

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	3
LISTA DE FIGURAS.....	4
LISTA DE TABLAS.....	6
LISTA DE MAPAS.....	7
LISTA DE ANEXOS.....	8
CONTENIDO.....	9
INTRODUCCIÓN.....	14
1. ÁREA PROBLEMÁTICA.....	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3. JUSTIFICACIÓN.....	18
4. MARCO TEÓRICO.....	19
1.1.....	19
4.1 Sistemas de Información Geográfica.....	19
4.1.1 Contexto Histórico:.....	19
4.2 Sistemas de Teledetección:.....	20
4.3 Imágenes de Satélite Land Sat:.....	21
4.3.1 Características de Las imágenes LANDSAT:.....	22
4.4 Metodología Corine Land Cover:.....	23
4.5 Procesamiento Digital de Imágenes:.....	24
5. METODOLOGÍA.....	25
Tipo de Trabajo:.....	25
5.1 Recolección, Clasificación y Análisis de la Información:.....	25
5.1.1 Fuentes De Información Primaria:.....	26
5.1.2 Fuentes De Información Secundaria:.....	26
5.2 Descarga y Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite y Radar.....	27
5.2.1 Descarga de Imágenes:.....	27

5.2.2	Composición Imágenes de Satélite.....	27
5.2.3	Recorte del Área de Trabajo	28
5.2.4	Mejoras de las Imágenes:.....	29
5.3	Clasificación Supervisada	29
5.3.1	Metodología Corine Land Cover:.....	30
5.3.2	Carga de las Imágenes:	30
5.3.3	Combinación RGB 4-3-2:.....	31
5.3.4	Creación firmas Espectrales:.....	31
5.3.5	Agrupación Espectral:.....	31
5.3.6	Control De Calidad:.....	32
5.3.7	Reclasificación o Recodificación Global:.....	32
5.3.8	Generalización de la Clasificación.....	32
5.3.9	Importar Tabla de Atributos	33
5.4	Vectorización de las imágenes.....	33
5.4.1	Recorte Área de estudio:	33
5.4.2	Filtro Eliminate:	33
5.5	Establecer usos del suelo	34
5.6	Mapas Finales de Cobertura Vegetal.....	34
5.7	Modelamiento Digital de la Cuenca	34
5.7.1	Recorte del área de estudio.....	34
5.7.2	Procesamiento Imagen de Radar	34
5.8	Corrección de la Imagen o Modelo Digital de Elevación.....	35
5.8.1	Corrección de la Imagen Base:.....	35
5.8.2	Calculo de Direcciones de Flujo	35
5.8.3	Calculo de Acumulación de los Drenajes.....	35
5.8.4	Definición de la red de Drenaje “Stream Definition”.....	35
5.8.5	Segmentación de las Corrientes “Stream Segmentation”	36
5.8.6	Delimitación Automática de Cuencas “Catchmen Delineation”	36
5.8.7	Exportar a Shapefile las Cuencas “Catchmen Polygon Procesing”	36
5.9	Recorte Divisoria de Cuencas y Red de Drenajes.....	36
5.10	Mapa de Pendientes.....	36
5.10.1	Recorte Área de Estudio	37
6.1	Recolección, Clasificación y Análisis de la Información:.....	38

6.2	Descarga y Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite y Radar	40
6.2.1	Descarga de Imágenes:	40
6.2.2	Composición Imágenes de Satélite	40
6.2.2.1	Imagen Landsat TM 4	40
6.2.3	Recorte del Área de Trabajo	43
6.2.4	Mejoras de las Imágenes:	44
6.3	Clasificación Supervisada	46
6.3.1	Metodología Corine Land Cover:	46
6.3.2	Creación firmas Espectrales:	49
6.3.3	Agrupación Espectral:	51
6.3.4	Control De Calidad:	53
6.3.5	Reclasificación o Recodificación Global:	54
6.3.6	Generalización de la Clasificación	55
6.3.7	Importar Tabla de Atributos	57
6.4	Vectorización de las imágenes	58
6.4.1	Recorte Área de estudio:	59
6.4.2	Filtro Eliminate:	60
6.5	Establecer usos del suelo	60
6.6	Mapas Finales de Cobertura Vegetal	61
6.7	Modelamiento Digital de la Cuenca	64
6.7.1	Recorte del área de estudio	64
6.7.2	Procesamiento Imagen de Radar	64
6.8	Corrección de la Imagen o Modelo Digital de Elevación	65
6.8.1	Corrección de la Imagen Base:	65
6.8.2	Calculo de Direcciones de Flujo	66
6.8.3	Calculo de Acumulación de los Drenajes	66
6.8.4	Definición de la red de Drenaje “Stream Definition”:	68
6.8.5	Segmentación de las Corrientes “Stream Segmentation”	69
6.8.6	Delimitación Automática de Cuencas “Catchmen Delineation”	69
6.8.7	Exportar a Shapefile las Cuencas “Catchmen Polygon Procesing”	70
6.8.8	Exportar a Shapefile la Red de Drenaje “Catchmen line Procesing” .	70
6.9	Recorte Divisoria de Cuencas y Red de Drenajes	70
6.10	Mapa de Pendientes	72

6.10.1	Recorte Área de Estudio	74
8	CONCLUSIONES	79
9	RECOMENDACIONES.....	82
10	BIBLIOGRAFÍA.....	84

RESUMEN

Los cambios constantes en la cobertura vegetal y los diferentes usos del suelo, se han convertido en un indicador importante desde el ámbito ambiental y de planificación de los territorios con el objetivo de entender la dinámica de un ecosistema y de esta forma facilitar la toma de decisiones enfocadas al desarrollo de un territorio. Por esta razón se hace necesario el desarrollo de estudios o proyectos sobre un área de estudio específica con el objetivo de determinar y cuantificar los cambios que ha tenido y analizar la manera como han sido utilizados los recursos naturales, por esta razón se hace importante la inclusión de tecnología para realizar este tipo de análisis. Para el desarrollo de este trabajo se propone utilizar herramientas de Teledetección como Imágenes producidas por Sensores Remotos (Imágenes Satelitales Multiespectrales, Imágenes de Radar), las cuales al ser procesadas nos permiten identificar los tipos de cobertura y uso del suelo en una determinada época del año. Con la Imagen de radar se puede modelar el entorno de acuerdo a la resolución espectral del mismo, permitiendo hacer un acercamiento a la realidad. También programas GIS que nos permiten el procesamiento y mejoramiento de los insumos.

Se establece utilizar la metodología internacional de clasificación y usos del suelo conocida como la metodología Corine Landcover adaptada para Colombia para ser trabajada con un nivel de detalle a escala 1:100,000, con la utilización de tres imágenes de satélite Landsat TM 5, 7 y 8 y una Imagen de radar (srtm) de 30 metros de altura. Se propuso trabajar con estos insumos con el objetivo de desarrollar el análisis multitemporal y el Modelamiento Morfo métrico (generación de curvas de nivel, red de drenaje, flujos de acumulación, dirección de la red de drenaje, etc.), de la subcuenca del río Molino ubicado en el municipio de Popayán departamento del Cauca.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de información geográfica y la teledetección se han convertido en las últimas décadas en una herramienta que conjuga varios elementos tecnológicos que permiten obtener productos con un nivel de detalle alto y resultados óptimos que facilitan la toma de decisiones respecto a procesos de planificación y desarrollo, en muchos casos enfocados a la agricultura, conservación, meteorología, la ordenación del territorio o la elaboración de cartografía entre otros¹.

La subcuenca del río Molino ubicada en el municipio de Popayán, departamento del Cauca, es una de las principales fuentes de distribución del recurso hídrico para el municipio de Popayán en su parte rural y urbana, en esta subcuenca se desarrolla un sinnúmero de actividades de tipo agrícola, y forestal, lo que genera un constante cambio en la cobertura vegetal. Por esta razón se propone desarrollar un análisis multitemporal que permita identificar cuáles han sido los cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo.

Para el desarrollo de este trabajo se propuso trabajar con imágenes Landsat, estas imágenes se caracterizan por poseer 7 bandas multiespectrales que van desde el visible hasta el infrarrojo medio, con una resolución de 30 metros. Sin embargo, la diferencia entre ellas radica en que las Landsat 7 poseen una banda pancromática de 15 metros y en el caso de la banda termal, aumenta la resolución de 120 a 60 metros. Cada escena cubre 180*175 Km². Para el tratamiento de estas imágenes se realizaron procesos de sinergismo con el objetivo de mejorar la resolución espectral de las imágenes y utilizando la metodología Corine Land Cover (CLC) desarrollada en Europa, y aplicada o modificada para Colombia. El objetivo de este trabajo es determinar los cambios en la cobertura y uso del suelo en los periodos comprendidos entre 1989 a 2014.

¹ Mauricio Labrador García, Juan Antonio Évora Brondo, Manuel Arbelo Pérez. Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas. Gobierno de Canarias. Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera (GOTA). Universidad de La Laguna IROA, S.A.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

La subcuenca del río Molino se encuentra ubicada en el oriente del municipio de Popayán Departamento del Cauca, su ubicación geográfica hace referencia a las siguientes coordenadas²:

UBICACIÓN GEOGRAFICA SUBCUENCA RIO MOLINO				
PUNTO CARDINAL	REFERENCIA	COORDENADAS PLANAS		AREA (km ²)
		ESTE (X)	NORTE (Y)	
NORTE	Desembocadura del río Molino en el río Cauca	1050300	763700	61,05
SUR	Nacimiento del río Molino en la vereda Santa Elena	1063100	764500	
ORIENTE	Nacimiento Quebrada Pesares, vereda Santa Elena	1063600	755200	
OCCIDENTE	Límite con subcuenca Quebrada Pubús	1051300	760600	

Tabla No 1 Ubicación Geográfica Subcuenca Río Molino

La subcuenca es un afluente directo del río Cauca, las características del relieve son: de forma alargada y estrecha, de relieve montañoso suavizado por cenizas volcánicas, presenta una elevación media de 2.624 MSN en un rango altitudinal entre los 1.700 y los 2.800 MSN, lo cual permite que se diferencien los pisos bioclimáticos subandino, andino y alto andino³.

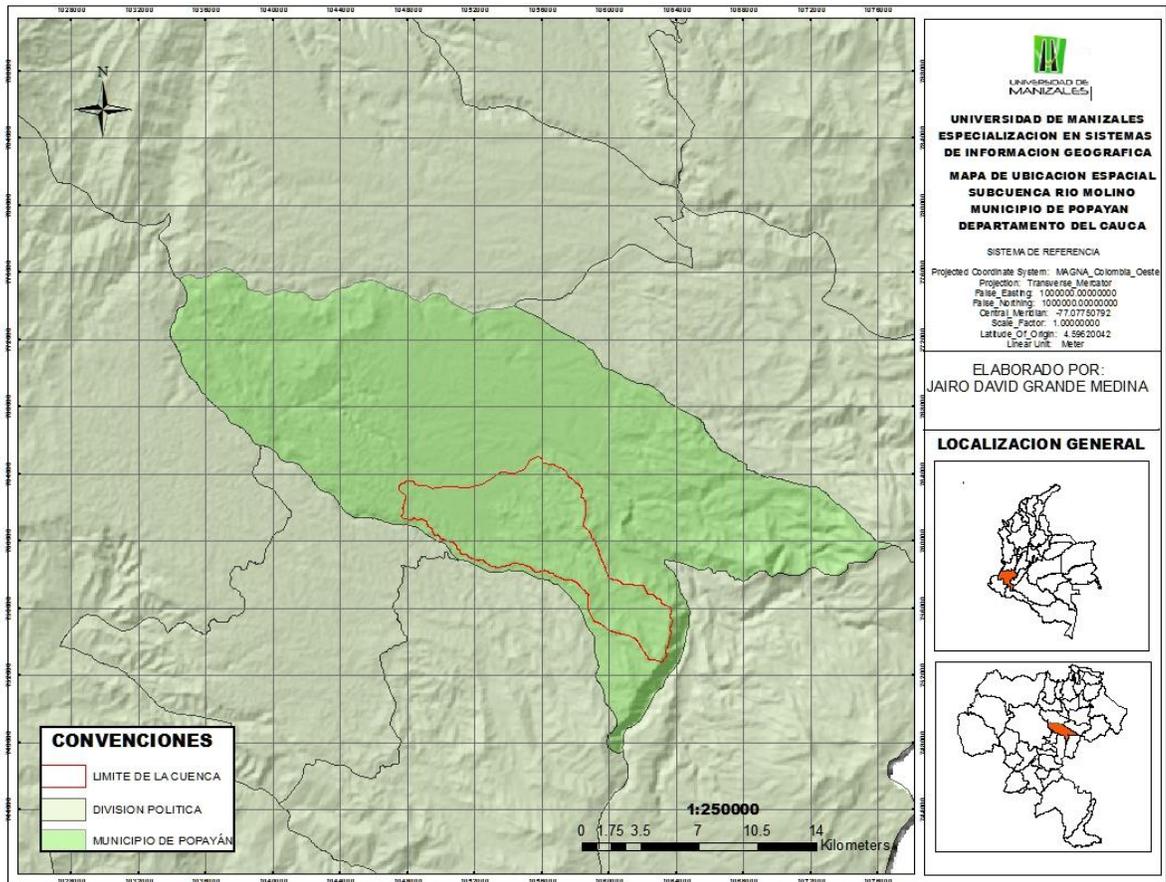
Aspectos Político Administrativos y Demográficos

La Población corresponde a aproximadamente 113.058 habitantes (DANE, 2005) distribuidos en la zona rural y urbana (Cuadro 1). Los campesinos e indígenas se ubican en la zona rural (parte alta y media de la subcuenca)

² Corporación Autónoma Regional del Cauca - Fundación Pro cuenca río las Piedras. Plan de Ordenación y Manejo Subcuenca Río Molino – Pubús, 2006.

³ Programa de Integración de Ecosistemas y Adaptación al Cambio Climático en el Macizo Colombiano. Evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático en la parte Media y Alta de la Subcuenca Río Molino municipio de Popayán. Agosto de 2011.

y las comunidades urbanas, migrantes y desplazados, se localizan en la ciudad de Popayán (parte baja), capital del Departamento del Cauca⁴.



MAPA No 1 UBICACIÓN ESPACIAL SUBCUENCA RIO MOLINO

⁴ Programa de Integración de Ecosistemas y Adaptación al Cambio Climático en el Macizo Colombiano. Evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático en la parte Media y Alta de la Subcuenca Rio Molino municipio de Popayán. Agosto de 2011.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el Análisis Multitemporal y Modelamiento Morfo métrico, con el objetivo de identificar los cambios en la cobertura y uso del suelo que ha tenido la subcuenca del río Molino en el periodo comprendido entre los años 1989 al 2014.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Demostrar el impacto causado al ecosistema debido a los constantes cambios en los usos del suelo en el área de estudio, utilizando la metodología para clasificación de coberturas vegetales Corine Lancover para Colombia a escala 1: 100.000.
- Utilizar herramientas de Teledetección (Imágenes de Satélite, de Radar, Fotografías Aéreas, etc.) y software Gis que permita realizar procesos de clasificación de cobertura y uso del suelo para cada uno de los periodos establecidos para el análisis multitemporal.
- Generar un Sistema de Información que permita el almacenamiento y procesamiento de la información producto del análisis multitemporal, y del modelamiento de la cuenca, además realizar consultas y de esta forma poder generar nuevas capas de información.
- Dar a conocer la importancia de desarrollar o proponer procesos de conservación sobre las cuencas, subcuencas y microcuencas hidrográficas pensando en las futuras generaciones.
- Demostrar la importancia de los procesos de planificación enfocados a la explotación o utilización de los recursos naturales pensando en la construcción de un desarrollo sostenible.
- Identificar el papel que cumplen los sistemas de información y los procesos de teledetección en los procesos de planificación y toma de decisiones.
- Concientizar a las comunidades sobre la utilización de los recursos naturales que hacen parte de su entorno

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad se puede decir que los avances tecnológicos respecto a los sistemas de información y los procesos de teledetección son muy avanzados, y se tiene mayor acceso a la adquisición de información por medio de empresas que están dispuestas a satisfacer la necesidad de los usuarios. Sin embargo se debe tener en cuenta que en algunos casos no es fácil acceder a la información, por costos o porque las empresas no están dispuestas a facilitar la información sin obtener un beneficio para las mismas. Es por esta razón que muchas personas en función de desarrollar algún tipo de proyecto se ven en la necesidad de recurrir a la adquisición de información o insumos que sean de uso gratuito o no cumplan en la totalidad con las características necesarias para obtener un producto final de calidad y consistencia de la información. Por esta razón se buscan aplicar metodologías de mejoramiento de los insumos con el objetivo de alcanzar productos de calidad o tratar que los insumos adquieran las características adecuadas.

Teniendo en cuenta la necesidad de identificar las problemáticas ambientales que se presentan en la actualidad como consecuencia de la falta de planificación a la hora de utilizar nuestros recursos naturales se plantea conjugar los sistemas de información geográfica y los sistemas de teledetección.

Para el desarrollo de este trabajo se plantea trabajar con imágenes de satélite de poca resolución, y con herramientas gis que permitan la manipulación de la información y la sustentación de los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo. De esta forma permitir a las personas identificar como ha sido el proceso de cambio de coberturas vegetales en la subcuenca del río molino, como consecuencia de los diferentes usos del suelo que se han establecido en un periodo de tiempo buscando satisfacer una necesidad. Por esta razón se plantea utilizar técnicas de clasificación de cobertura vegetal avanzada y mejoramiento de las imágenes con procesos de sinergismo, reclasificación, y filtros, y a su vez generar capas o insumos cartográficos a partir de imágenes de radar y cartografía básica, todo esto con el objetivo de crear un sistema de información geográfica que permita trabajar con la información alfanumérica y las capas de información generando toda clase de información cartográfica. De esta forma se puede facilitar los procesos de planificación y la toma de decisiones respecto a la utilización o conservación de los recursos naturales.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Sistemas de Información Geográfica

hablar de Sistemas de Información Geográfica pareciera ser un tema nuevo, la verdad es que su aplicación se viene realizando desde hace varias décadas, solo que el auge y reconocimiento en las diferentes disciplinas está tomando fuerza en los últimos años, permitiendo a las personas tener un mayor acceso a las tecnologías de la información y la comunicación, además se ha convertido en una herramienta importante para los investigadores de las diferentes disciplinas porque les permite sustentar sus trabajos de tipo investigativo y de uso comercial. Actualmente los Sistemas de Información Geográfica se están convirtiendo en la solución comercial para muchas empresas, de tipo público y privado, porque gracias a los SIG pueden ofrecer y expandir sus servicios a muchos más usuarios, y permiten o facilitan la planificación y la toma de decisiones. Si se busca una definición de Sistemas de Información Geográfica, encontramos que lo definen como el complemento de software, Hardware, datos y recurso humano. Sin embargo se puede reconocer que los sistemas de información geográfica son mucho más amplios que las simples definiciones que se le dan, pues estos facilitan procesos de planificación y toma de decisiones desde diferentes disciplinas. Los SIG han sido utilizados en estudios de tipo científico y en especial en los de tipo ambiental, con el objetivo de visualizar datos y modelarlos en bases de datos, apoyados de procesos de teledetección, por ejemplo en estudios de tipo ambiental, (Atención y Prevención de Desastres, Coberturas y usos de la Tierra, Planificación, Planes de ordenamiento de cuencas Hidrográficas, etc.).

4.1.1 Contexto Histórico:

Según varios autores los SIG surgen en los años 1960 a 1970, época en la cual surgen nuevas tecnologías computarizadas (desarrollo de la informática) que permiten el análisis del entorno geográfico, dando nuevos aportes en la forma de utilizar mapas para la valoración de recursos y planificación del territorio; así mismo se incrementa el uso de metodologías digitales para distintas aplicaciones cartográficas. A principios de los años 80's, los Sistemas de Información Geográfica se convirtieron en un modelo operativo y funcional, que a

medida que avanza la tecnología esta logra una mayor aceptación por diferentes sectores públicos y privados.

“La aparición de los SIG va estrechamente relacionada con el desarrollo de la informática años 60, la idea de visualizar diferentes capas de datos en series de mapas de base y relacionar elementos geográficamente, apareció hace bastante más tiempo que la llegada de los ordenadores.

Ya en 1781, el cartógrafo francés Louis-Alexandre Berthier representó los movimientos de las tropas en la Batalla de Yorktown mediante mapas que contenían información cruzada. En 1854, el doctor John Snow utilizó el análisis geográfico para determinar la causa de la epidemia de cólera de Londres. Más adelante, McHarg demostró cómo la técnica de superposición de capas podía ser incorporada en los procesos de planeamiento. Otros autores, como Hägerstrand o Christaller, hicieron uso del análisis geográfico mediante superposición de capas de información para realizar sus estudios.

Sin embargo, no fue hasta los años 60 cuando se produjeron las innovaciones que dieron impulso al desarrollo de los SIG tal y como los conocemos en la actualidad. En esos años, Roger Tomlinson considerado el padre de los SIG, creó el CGIS, diseñado para identificar y explotar los recursos existentes en el territorio canadiense.

4.2 Sistemas de Teledetección:

Las técnicas de teledetección nos permiten obtener procesos de observación a distancia y la obtención de imágenes de la superficie terrestre obteniendo imágenes producto de sensores remotos instalados en plataformas Satelitales (satélites artificiales) o desde aeronaves tripuladas y no tripuladas. Estos procesos permiten obtener insumos que facilitan la observación de la tierra, procesos de planificación y toma de decisiones sobre la utilización de los recursos naturales. La utilización de los mismos complementados con análisis desde sistemas de información le permiten al investigador además de tener datos más precisos crear información espacial y referenciada, de esta forma crear bases de datos geográficas que se realicen bajo un tipo de estándares de calidad y a su vez crear modelos de infraestructura de datos espaciales, lo que garantiza que la información resultante de estos procesos pueda ser utilizada en otro tipo de proyectos como insumos o como referente para el desarrollo de nuevos proyectos.

4.3 Imágenes de Satélite Land Sat:

Las Imágenes Landsat representan para los procesos de teledetección, percepción remota y los sistemas de información una gran herramienta o insumo que permite obtener resultados favorables respecto a proyectos de tipo investigativo, sobre todo en la parte ambiental. La utilización de este tipo de imágenes se plantea teniendo en cuenta que son de uso gratuito y sus características permiten ser mejoradas espacial y espectralmente, aunque no son las más detalladas visualmente, tienen varios componentes que permiten obtener resultados favorables en cuanto a proceso de planificación y toma de decisiones. Las imágenes LANDSAT reciben este nombre de acuerdo al tipo de sensor desde donde son tomadas (LAND=tierra y SAT=satélite). “El Satélite Landsat fue el primer satélite enviado por los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres. Inicialmente se le llamó ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) y posteriormente los restantes recibieron el nombre de LANDSAT. La constelación LANDSAT está formada por 7 satélites que provenían, tanto conceptual como estructuralmente, de los satélites para fines meteorológicos Nimbus. Estos Llevaron a bordo diferentes instrumentos, siempre con la filosofía de captar mayor información de la superficie terrestre, con mayor precisión y a mayor detalle, de ahí sus mejoras radiométricas, geométricas y espaciales”⁵.

Los tres primeros satélites LANDSAT que fueron construidos a partir de una modificación del satélite meteorológico NIMBUS. Tenían una órbita circular, casi polar, sincrónica con el Sol, a una altura aproximada de 920 Km. Los satélites realizaban una órbita completa alrededor de la Tierra cada 103 minutos y 27 segundos, cubriendo 14 fajas de la superficie terrestre por día. Cada 18 días ellos pasaban sobre la misma región de la superficie de la Tierra. El horario de paso de los satélites por el Ecuador era a las 09:30 horario local.

Hace algunos años solo se encontraban activos los satélites Landsat 5 y 7 estos son administrados por la NASA (National Space and Space Administration), Por lo tanto la producción y comercialización de las imágenes depende del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). En la actualidad ya se encuentra en órbita el satélite Landsat 8 el cual tiene características más avanzadas.

⁵. INEGI. Dirección General de Geografía y Medio Ambiente. Aspectos Técnicos De Las Imágenes Landsat.

“Este satélite Landsat 8 recibe el nombre de “Landsat Data Continuity Mission” (LDCM) es el octavo satélite de observación de la serie Landsat y continuará el legado de archivo de los anteriores satélites, convirtiéndose de esta manera en el futuro de los satélites de observación de la tierra de mediana resolución con más historia. Este programa amplía, mejora y avanza en el registro de imágenes multispectrales, manteniendo la misma calidad de sus siete predecesores. La plataforma LDCM, fue construida por la empresa Orbital Sciences Corporation en Gilbert, Arizona, tiene una vida útil de 5 años, pero lleva suficiente combustible para 10 años de operaciones. La nave orbitará de norte a al sur durante el día, cruzando el ecuador a las 10 a.m., hora local, con una órbita aproximada de unas 438 millas (705 kilómetros) por encima de la Tierra (USGS. 2013)”⁶.

4.3.1 Características de Las imágenes LANDSAT:

Este tipo de imágenes están compuestas por 7 u 8 bandas espectrales, estas bandas espectrales fueron elegidas especialmente para el monitoreo de la vegetación, para aplicaciones geológicas y para el estudio de los recursos naturales. Estas bandas pueden combinarse produciendo una gama de imágenes de color que incrementan notablemente sus aplicaciones. Las características anteriores se mantienen hasta las imágenes Landsat 7, a diferencia de estas las imágenes Landsat 8 están compuestas por 11 bandas espectrales, pero el objetivo de su creación y puesta en órbita sigue siendo el mismo.

“Las imágenes Landsat 8 obtenidas por el sensor (OLI) y (TIRS) constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9. Una banda nueva (1) (azul-profundo) es útil para estudios costeros y aerosoles. La nueva banda (9) es útil para la detección de cirrus. La resolución para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. Dos bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución (Tabla. 2). El tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste (106 km por 114 km)”⁷.

⁶ Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Grupo Interno de Trabajo en Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas. Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 (LDCM).

⁷ Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Grupo Interno de Trabajo en Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas. Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 (LDCM)..

4.4 Metodología Corine Land Cover:

“La metodología Corine Land Cover se adoptó en Colombia en el marco del programa de apoyo y la colaboración prestada por el Fondo Francés para el Medio Ambiente (FFEM), la Embajada de Francia en Colombia, el Instituto Geográfico Nacional de Francia (ING) y ONF Andina Colombia, con el fin de promover una metodología unificada y estandarizada para el contexto colombiano en relación a coberturas de la tierra.

Corine Land Cover en Europa viene desarrollándose desde 1990, definiendo una metodología específica para realizar el inventario de coberturas de la tierra, constituyéndose en soporte para la toma de decisiones en políticas relacionadas con el medio ambiente y el ordenamiento territorial; aplicándose hoy en día en la totalidad del territorio europeo. La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a escala 1:100.000. Como principal resultado el país cuenta con la "Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia"⁸.

⁸ Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Sistema de Información Ambiental de Colombia. SIAC.

4.5 Procesamiento Digital de Imágenes:

“El procesamiento digital de imágenes, es una disciplina que desarrolla las bases teóricas y algorítmicas mediante las cuales pueda extraerse información del mundo real, de manera automática a partir de una Figura observada.

El uso de la computación en diferentes dominios ha permitido sofisticar la naturaleza del procesamiento de las imágenes, con el propósito de extraer al máximo cualquier información disponible en las mismas, que pueda ser de utilidad”⁹.

⁹ Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bravo (2004). Interpretación visual de Imágenes de Sensores Remotos y su Aplicación en Levantamientos de Cobertura y uso de la Tierra.

5. METODOLOGÍA

Tipo de Trabajo:

Este trabajo es una investigación simple, donde se relacionan los sistemas de información geográfica con los procesos de teledetección, dejando atrás el concepto: que los sistemas de información geográfica solo son un complemento de hardware, software, datos, personas y métodos. Los sistemas de información son una herramienta más amplia, estos pueden ser utilizados de acuerdo a las necesidades de una investigación, para este caso con procesos de teledetección aumentando el detalle geográfico y los resultados finales de la información. Los sistemas de teledetección se conocen como una técnica que permite la observación a distancia o la captura de imágenes de los elementos de la superficie terrestre, los cuales pueden ser capturados desde sensores que se encuentran ubicados en aeronaves o en satélites artificiales. Teniendo en cuenta que la información obtenida por métodos de teledetección, en su mayoría se encuentra en formatos raster puede ser convertida a otro tipo de formatos como los formatos vector y hacer de esta información la base para generar capas con información alfanumérica que nos permita la construcción de bases de datos geográficas.

Para el desarrollo de este trabajo se plantea que toda la información adquirida y toda la información producto de los procesos establecidos, se almacene en una base de datos geográfica (Geodatabase), que permita la fácil manipulación y organización de la información.

Para el desarrollo de este, trabajo se utilizaron los siguientes insumos: tres imágenes de Satélite landsat TM: 4, 7, y 8, correspondientes a los años 1989, 2001, y 2014, una Imagen de Radar (SRTM) de 30 metros de altura. Para la clasificación supervisada y no supervisada de cobertura vegetal y uso del suelo se utilizó la metodología Corine land Cover, software Arcgis 10,2 y Erdas Imagine 9.2, GPS Trimble, y su Software Pathfinder.

El desarrollo metodológico de la aplicación SIG se establece en 10 pasos:

5.1 Recolección, Clasificación y Análisis de la Información:

Se establece recolectar, clasificar y analizar todo tipo de información bibliográfica referente a Sistemas de Información Geográfica, Teledetección, Percepción

Remota, procesos de Clasificación de Cobertura y Uso del Suelo (metodología Corine land Cover, Clasificación coberturas Instituto Geográfico Agustín Codazzi) . Además se recolecta información de trabajos o proyectos anteriores desarrollados en el área de estudio. En esta etapa también se establece recolectar todo tipo de información que sirva como insumo para el desarrollo de cada una de las actividades programadas y la obtención de productos finales. Se descargan imágenes de satélite Landsat 4, 7 y 8 de diferentes años, se analizan y clasifican de acuerdo a las características atmosféricas ofrecidas. Se establece trabajar con imágenes correspondientes a los años 1989 (Landsat TM 4), 2001(Landsat TM 7), y 2014(Landsat TM 8), se descarga una imagen de radar de 30 metros de resolución espectral.

Una vez obtenida toda la información bibliográfica e insumos para el desarrollo del proyecto se clasifica en:

- Fuentes de Información Primaria
- Fuentes de Información Secundaria

5.1.1 Fuentes De Información Primaria:

Se establece como fuente de información primaria, aquella que se puede obtener directamente de la comunidad por medio de elementos de recolección directa como entrevistas, encuestas, sondeos, toma de datos GPS etc.

5.1.1.1 Puntos GPS y Elaboración del Diccionario de Datos:

Para la adquisición de este tipo de información, se planteó hacer visitas en campo en donde se hizo toma de datos gps, y se recolecto información de las actividades económicas, culturales, sociales y las características físicas de la zona de estudio. Previamente se realizó un diccionario de datos con el software Pathfinder y se exporto al GPS Trimble Juno ST el cual ofrece un nivel de detalle de dos a tres metros, una vez obtenida la información de campo se descarga y se exporta a formato shapefile, obteniendo una capa de geometría tipo punto, con una tabla de atributos donde se encuentra consignada la información alfanumérica recolectada en campo.

5.1.2 Fuentes De Información Secundaria:

La información secundaria es aquella que es recolectada de fuentes bibliográficas, de proyectos anteriores, o similares al propuesto.

La información secundaria se obtuvo de trabajos anteriores, de las diferentes instituciones ambientales y administrativas del municipio de Popayán como lo es la empresa de acueducto y alcantarillado, la corporación Autónoma Regional del Cauca CRC, y la Fundación Río las Piedras.

5.2 Descarga y Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite y Radar

Las imágenes Landsat constan de 7 u 8 bandas espectrales, estas características se establecieron según el objetivo de lanzamiento del sensor. Se buscaba tener herramientas para el monitoreo de la vegetación, aplicaciones geológicas y para el estudio de los recursos naturales. Estas bandas pueden combinarse produciendo una gama de imágenes de color que incrementan notablemente sus aplicaciones¹⁰.

5.2.1 Descarga de Imágenes:

Para el desarrollo de este trabajo se estableció trabajar con imágenes de satélite Landsat 4, 7 y 8 y una imagen de radar AsterGedem con un nivel de detalle de 30 metros. La descarga de las imágenes de Satélite Landsat 4, y 7 se realiza de la página de la Nasa y la Universidad de Meriland (Earth Science Data Interface). En esta página se encuentra un gran número de imágenes tomadas en diferentes épocas, se revisa cuáles cumplen con las características esperadas y se define que se deben descargar las imágenes correspondientes al año 1989, (Landsat 4), 2001(Landsat 7). La imagen correspondiente al año 2014 (Landsat 8), se descarga de la página USGS (Science for a changing world) y la imagen de radar se descarga de Aster Gedem, estas imágenes son descargadas en archivos independientes en formato tiff, después de descargadas y almacenadas se descomprimen y se almacenan en carpetas independientes diferenciadas por año.

5.2.2 Composición Imágenes de Satélite

La composición de las imágenes de satélite, corresponde al tratamiento de varias bandas, o componentes de la imágenes. Las imágenes Landsat reciben su nombre de acuerdo al tipo de sensor con el que fueron tomadas, y el sensor recibe el nombre de acuerdo a su Lanzamiento al espacio.

¹⁰ INEGI. Dirección General de Geografía y Medio Ambiente. Aspectos Técnicos De Las Imágenes Landsat.

Las Bandas espectrales de las imágenes de satélite Landsat se encuentran en archivos comprimidos e individuales, por lo que se estableció crear una carpeta para su almacenamiento según el sensor y el año de la toma de la Imagen.

5.2.2.1 Imagen de Radar “SRTM”:

Las imágenes de radar son aquellas que nos permiten tomar alturas, y determinar las características del relieve de acuerdo al nivel de detalle del mismo para este caso se descarga una imagen de 30 metros de resolución de la página Aster GDEM correspondiente al mosaico del país, y por medio de un proceso de extracción por máscara se determina realizar un recorte del área de estudio, para este caso se hace el recorte sobre un área que cubre el municipio de Popayán en su parte rural y urbana, la imagen resultante se establece como insumo para la elaboración de productos cartográficos.

5.2.3 Recorte del Área de Trabajo

Las imágenes de satélite Landsat abarcan un gran número de hectáreas de cobertura, lo que significa que el tamaño del archivo sea muy pesado, y no facilite la manipulación. Por esta razón se hace necesario recortar las imágenes de acuerdo al área de estudio, de esta forma facilitar que los procesos de tratamiento y mejora de las imágenes sea más rápido. “El proceso anterior se plantea teniendo en cuenta que un producto LANDSAT TM está por encima de los 300 mega-bites de tamaño¹¹.

Para realizar el recorte de las imágenes de satélite, se realiza desde el software ArcGIS 10.2, utilizando las herramientas de extracción, de análisis espacial. El proceso consiste en recortar las imágenes de satélite las cuales se encuentran en formato raster, con respecto a una capa de tipo vector (polígono), correspondiente al límite de la cuenca, se establece el nombre al archivo de salida y la ubicación. De esta forma se dejan listas las imágenes para realizar los diferentes procesos establecidos para el tratamiento de las imágenes.

¹¹ Elena Posada. Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica CIAF. Manual de Prácticas de Percepción Remota Parte 1.

5.2.4 Mejoras de las Imágenes:

5.2.4.1 Sinergismo:

El sinergismo consiste en mejorar la calidad de la Imágenes respecto a la resolución espectral. Este proceso es utilizado principalmente para fusionar imágenes de satélite producidas por diferentes sensores, pero con características semejantes. En algunos casos se realiza este proceso con imágenes de satélite Landsat e imágenes Spot. Para el desarrollo de este trabajo se estableció realizar el proceso de sinergismo con las imágenes LandsatTM 4 y 7, con el objetivo de mejorar la resolución espectral de las mismas. Se establece utilizar la banda No 8 o banda pancromática, con el objetivo de reducir el tamaño del pixel, este tipo de imágenes por defecto tienen un tamaño de pixel de 30 por 30, al realizar este proceso el tamaño del pixel se reduce a 15 por 15 lo que garantiza una mejora en la resolución espectral y un mayor desempeño al realizar un proceso de clasificación. Para el caso de la Imagen Landsat 4 se establece hacer el proceso de sinergismo con la banda 8 o pancromática de la Imagen Landsat7 obteniendo pixeles de 15 por 15 igualando la resolución de las otras imágenes.

Este proceso consiste en unir la Imagen resultante de la composición de las siete bandas espectrales, con la banda número ocho o Pancromática.

5.3 Clasificación Supervisada

Para realizar un proceso de clasificación supervisada, no solo se requiere de conocimientos respecto a la utilización de herramientas gis o de teledetección, no es suficiente tener dominio sobre una herramienta o metodología. Para este tipo de proceso se plantea que quien va a desarrollar una aplicación o análisis espacial sobre una parte de la superficie terrestre, tenga conocimiento del terreno y de los tipos de coberturas que se puedan encontrar en el área de estudio. Para el desarrollo de esta aplicación se planteó, combinar componentes como trabajo de campo, análisis de fotografías aéreas, imágenes de satélite, mapas e informes técnicos y referencias profesionales y locales, de proyectos realizados anteriormente sobre la zona de estudio. Para este caso se estableció utilizar la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000.

5.3.1 Metodología Corine Land Cover:

Este tipo de metodología adaptada para Colombia se conoce como CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover. Esta es un inventario homogéneo de la ocupación (cobertura) del suelo con características técnicas específicas. Tiene como objetivo fundamental la captura de datos de tipo numérico y geográfico para la creación de una base de datos a escala 1:100.000 sobre la cobertura y uso del territorio mediante la interpretación a través de imágenes recogidas por la serie de satélites LandSat y SPOT¹². Es Utilizada por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

“En Colombia no existía un sistema de clasificación y una metodología uniforme para levantar información de las coberturas de la tierra. Para dar respuesta a este problema, el proyecto “Corine Land Cover Colombia” busca estandarizar un sistema de clasificación, con categorías jerárquicas definidas de acuerdo a la información que puede proporcionar las imágenes de satélite Landsat TM conforme a las condiciones locales del territorio nacional. La adaptación y validación de la metodología CLC permitirá comparar estadísticas de ocupación de la tierra y crear líneas de comunicación entre las diferentes instituciones que adopten y facilita además homologar información”¹³.

Después de establecer los posibles tipos de cobertura que se pueden encontrar en la zona de estudio se inicia el proceso de Clasificación supervisada con la utilización de imágenes de Satélite LandSat. El proceso de clasificación se realiza utilizando el software Erdas Imagine 9,2.

Para el proceso de clasificación supervisada se establece desarrollar los siguientes procedimientos:

5.3.2 Carga de las Imágenes:

Se establece realizar el procedimiento de clasificación utilizando el software Erdas Imagine 9.2, se utiliza la combinación de bandas 4,3,2, se carga cada una de las imágenes establecidas para los años objeto de estudio y se inicia el proceso de Clasificación supervisada o avanzada.

¹² Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Rural. Adopción De La Metodología Corine Land Cover Para La Caracterización De Las Coberturas De La Tierra A escala 1:100.000 En Las Áreas Del Sistema De Parques Nacionales Naturales De Colombia.

¹³ IGAC-IDEAM-CORMAGDALENA

5.3.3 Combinación RGB 4-3-2:

Esta combinación es conocida como Falso Color infrarrojo, se caracteriza porque al asignar el rojo a las bandas 4 (NIR), entrega como resultado que la vegetación adquiera una gama de colores que van desde el color rojo oscuro hasta el rosado pálido. La vegetación arbórea densa toma tonos más oscuros, como bosques, montes, etc. A veces se puede identificar algunas especies como pinos y eucaliptos. Los colores rojos claros indican cultivos y praderas vigorosas. Los rosados corresponden a vegetación poco densa como pastos naturales, el celeste hace referencia a suelos desnudos, seco o áreas rocosas, el azul Celeste puede corresponder a zonas urbanas, el azul oscuro a negro hace referencia al agua clara en cursos o cuerpos de agua si estos presentan partículas en suspensión aparecerán con tonalidades azul verdosas (cian). Los colores verdes a verde azulado corresponden a parcelas aradas o suelos descubiertos con mayor o menor contenido de humedad.

Este tipo de características se asumen solo para las imágenes Landsat 4 y 7, la Imágenes Landsat 8 con esta combinación RGB obtiene otro tipo de características, teniendo en cuenta que tiene más elementos, lo que permite una mejor clasificación.

5.3.4 Creación firmas Espectrales:

La creación de firmas espectrales consiste en la realización de un análisis exploratorio sobre la imagen a clasificar y la identificación de coberturas vegetales que se puedan encontrar en el área de estudio. Desde las herramientas de clasificación del software Erdas Imagine se generan polígonos o puntos sobre los tipos de cobertura que se identifiquen, estas firmas se pueden nombrar según el criterio del foto interprete, una vez obtenida la totalidad de las firmas se direcciona y se establece el nombre de salida del proyecto, el formato de almacenamiento es .Sig (Signature). Para este caso las firmas espectrales se nombran de acuerdo a la metodología Corine Land Cover para la clasificación de coberturas y usos del suelo, y a las siglas establecidas para el tipo de cobertura que se encuentra en el área de estudio.

5.3.5 Agrupación Espectral:

La Agrupación espectral corresponde al proceso de clasificación supervisada en su parte final, este proceso consiste en agrupar los niveles digitales (ND) de la Imagen que se va a clasificar, de acuerdo a las clases o firmas espectrales que se definieron. Este ejercicio consiste en correr el procedimiento de clasificación

avanzada o supervisada utilizando la imagen para cada uno de los periodos de tiempo establecidos (1989, 2001 y 2014) y el archivo de firmas espectrales en formato .sig que se generó para para cada año. Finalmente se obtiene una imagen clasificada de tipo raster diferenciada por colores, cada color hace referencia a los tipos de cobertura que se establecieron para cada una de las imágenes.

5.3.6 Control De Calidad:

El control de calidad consiste en validar la Imagen resultante de la clasificación supervisada con respecto a la Imagen que se utilizó para crear las firmas espectrales. Este control consiste en cargar las dos imágenes en un mismo viewer, o espacio de trabajo, verificando que los tipos de cobertura resultantes correspondan con la imagen original.

5.3.7 Reclasificación o Recodificación Global:

Este proceso consiste en tomar la Imagen resultante del proceso de clasificación supervisada y revisar las clases o firmas espectrales generadas, si se observan clases que correspondan a una misma capa se pueden fusionar por medio de las herramientas de interpretación.

5.3.8 Generalización de la Clasificación

El proceso de generalización consiste en la aplicación de un filtro que, con el objetivo de mejorar el proceso de Clasificación, este se realiza teniendo en cuenta que cuando se clasifica una Imagen, se generan algunos grupos de pixeles aislados, los cuales no representan un área significativa, de cobertura, por lo que se aplica un filtro con la finalidad de que las clases predominantes absorban estos píxeles. Para la aplicación de filtros se debe tener en cuenta la escala final del mapa. Cada vez que se aplicó un filtro este género una Imagen resultante la cual se nombró de acuerdo al filtro, este proceso se realizó para las tres imágenes.

5.3.8.1 Filtro Neighborhood:

Este tipo de filtro nos permite unir pixeles utilizando una metodología matemática de vecindad, donde las áreas de pixeles aisladas son fusionadas con las áreas de pixeles más significativas.

5.3.8.2 Filtro Clump:

Este tipo de filtro consiste en agrupar los pixeles cuyos niveles digitales sean iguales.

5.3.8.3 Filtro Eliminate:

Este tipo de filtro es un algoritmo y consiste en eliminar los polígonos pequeños, y los une a los polígonos de áreas mayores. Para la aplicación de este filtro se define el número de píxeles y se establece la opción ignorar los valores de cero, para este caso se establece que el valor mínimo de píxeles sea de 100, lo que corresponde a un área en terreno de 9 hectáreas y la escala de 1:100.000 para la que está hecha la clasificación Corine Land Cover. La imagen resultante de este filtro pierde los atributos de la capa raster por lo que se debe realizar otro procedimiento de importación de la tabla de atributos de cualquiera de las imágenes resultado de los anteriores filtros.

5.3.9 Importar Tabla de Atributos

Para insertar de nuevo los atributos a la Imagen producto del filtro Eliminate, se puede hacer desde la tabla de atributos adicionando la columna o campo con el nombre de clase y manualmente modificar los colores, para este caso se estableció importar la tabla de atributos de una de las imágenes antes generadas para este caso se importó de la tabla de atributos de la Imágenes de la clasificación supervisada el nombre y el color de las clases.

5.4 Vectorización de las imágenes

Con cada una de las imágenes finales obtenidas del proceso de clasificación supervisada resultante de todos los procesos de mejora, se establece exportar a formato Vector, cada Imagen. Este procedimiento se realiza con el software Arcgis 10.2 y posteriormente se realiza un proceso de filtrado y suavizado de los polígonos correspondientes a cada clase.

5.4.1 Recorte Área de estudio:

Se establece recortar las capas obtenidas correspondientes a cada año, de acuerdo al límite de la cuenca, este procedimiento se realiza por medio de las herramientas de geoprocésamiento del software arcgis 10, 2.

5.4.2 Filtro Eliminate:

Este tipo de filtro actúa de la misma forma que el que se ejecutó con el Software Erdas Imagine, la diferencia se centra en que el filtro en erdas se genera sobre un archivo de formato raster y en el software Arcgis 10,2, se realiza sobre una capa de tipo vectorial. Este tipo de filtro toma los polígonos a eliminar y los une a los polígonos de mayor área.

5.5 Establecer usos del suelo

Los usos del suelo se establecieron de acuerdo a las actividades económicas más representativas que se desarrollan en la zona de estudio. Esta Información fue recolectada en la visita de campo, la cual consistió en la toma de 50 puntos de referencia, con Gps Trimble el cual a su vez nos permitió recolectar información adicional al punto de referencia como características del paisaje y las actividades comerciales más representativas de la zona. La toma de puntos de referencia se llevó a cabo en la parte alta y baja de la Subcuenca del río Molino ubicada al oriente del municipio de Popayán.

5.6 Mapas Finales de Cobertura Vegetal

Una vez obtenidas todas las capas producto del proceso de análisis y usos del suelo para los años 1989, 2001 y 2014, se establece elaborar los mapas de cobertura vegetal y usos del suelo para cada uno de los años establecidos en el proyecto. De esta forma demostrar cuales han sido los cambios que ha sufrido el ecosistema de la subcuenca del río molino y como estos cambios afectan o benefician al sostenimiento de la misma.

5.7 Modelamiento Digital de la Cuenca

Para el desarrollo de esta actividad se recopiló un mosaico de imágenes de radar de Colombia, con un nivel de detalle de 30 metros, descargado de la página “**AsterGedem**”, como actividad inicial para el tratamiento del mismo se realiza un análisis que permita identificar si este insumo se encuentra geo referenciado de acuerdo al sistema de referencia actual para Colombia. Una vez realizado este análisis se establece desarrollar las siguientes actividades:

5.7.1 Recorte del área de estudio

Para recortar el área de estudio, se establece realizar este procedimiento utilizando las herramientas de extracción por máscara de análisis espacial del software Arcgis 10.2.

5.7.2 Procesamiento Imagen de Radar

Antes de iniciar la generación de productos para el modelamiento de la subcuenca del río Molino, se establece generar un modelo de sombras a partir del recorte antes creado. Para generar este modelo de sombras se utilizan las herramientas de modelamiento del software Arcgis.

5.8 Corrección de la Imagen o Modelo Digital de Elevación

Para iniciar el procedimiento de delimitación o modelamiento de la cuenca a partir del modelo digital de elevación, se utiliza la herramienta ArcHydro, de Arcgis10.2. Una vez obtenida la Imagen o insumo principal para el modelamiento de la subcuenca del río Molino se establecen realizar el siguiente proceso:

5.8.1 Corrección de la Imagen Base:

Se tiene como insumo un recorte o Imagen del área de estudio, en formato raster. Este tipo de Imagen puede contener celdas con valores iguales a ceros catalogados como huecos, para corregir o evitar este tipo de características en la Imagen se establece como punto de partida realizar un procedimiento llamado “**Fill Sink**” el cual consiste en rellenar los huecos de la Imagen o interpolar las celdas cuyo valor sea igual a cero, asociando dichas celdas a celdas vecinas cuyos valores sean mayores. Como producto de este se genera una nueva Imagen de salida ya corregida y en el mismo formato. Es a partir de este proceso que se inicia el modelamiento o delimitación de la cuenca.

5.8.2 Calculo de Direcciones de Flujo

Para calcular las direcciones de flujo se utiliza la Imagen resultante del anterior procedimiento fill sink, o sea la Imagen corregida, el cálculo consiste en obtener las direcciones que tomaría el agua en caso de alcanzar cada celda, la Imagen de salida es una Imagen raster compuesta por varios colores, el programa por defecto establece los niveles de valores en lo que va a representar las direcciones, para este caso establece ocho niveles o valores.

5.8.3 Calculo de Acumulación de los Drenajes

Este proceso de acumulación se realiza utilizando la Imagen resultado del proceso de direcciones de flujo, con el objetivo de obtener una Imagen de salida con la delimitación de los drenajes que hacen parte del área de estudio. Si en este proceso se tuviera como insumo una Imagenes raster correspondiente a corrientes, se puede realizar un proceso de ponderación el cual a su vez puede corregir las direcciones de flujo y obtener mejores resultados, para el cálculo de acumulación.

5.8.4 Definición de la red de Drenaje “Stream Definition”:

Con esta herramienta se establecen los valores para generar la red de drenaje, según los valores establecidos se puede generar las redes de drenajes primaria, secundaria, y terciaria. Este ejercicio se puede realizar desde la calculadora Raster de las herramientas de análisis espacial, estableciendo valores, o desde la herramienta hydrology utilizando la aplicación basin que genera los drenajes de

una manera más general, o desde la herramienta Arc Hydro estableciendo como capa de entrada la capa resultante del proceso de acumulación de flujo, (flow accumulation). Esta última metodología es la utilizada para la elaboración de la red de drenaje.

5.8.5 Segmentación de las Corrientes “Stream Segmentation”

Para este ejercicio se utilizan las capas raster de dirección de flujo” Flow Direction”, la capa de la red de drenaje “Stream Definition”. La capa de salida recibe un nombre por defecto o se le puede colocar un nombre de salida. Se obtiene como resultado que los valores obtenidos van de 1 a 104.

5.8.6 Delimitación Automática de Cuencas “Catchmen Delineation”

Este procedimiento nos permite obtener de forma automática la generación de las cuencas o divisorias de cuencas hidrográficas a partir de la Imagenes raster que se han ido produciendo en los ejercicios anteriores (Flujo de Dirección, Segmentación de corrientes), se establece el nombre de Salida.

5.8.7 Exportar a Shapefile las Cuencas “Catchmen Polygon Processing”

Por medio de esta herramienta se exporta la divisoria de cuencas de formato Raster a Vector, para este caso de tipo shapefile que es el formato nativo de Arcgis.

5.9 Recorte Divisoria de Cuencas y Red de Drenajes

Se establece recortar las divisorias de cuencas y la red de drenaje que se encuentran dentro del límite o divisoria de la subcuenca del río Molino, para este caso se establece realizar este ejercicio por medio de las herramientas de extracción o geo procesamiento (Clip), para el cual se recortan las capas resultantes: red de drenaje y cuencas de formato shapefile en función de la capa límite de la cuenca de tipo polígono suministrada por las entidades locales.

5.10 Mapa de Pendientes

Utilizando el modelo digital de elevación, que se utilizó para el modelamiento de la cuenca se propone desarrollar el mapa de pendientes, con el objetivo de obtener el nivel de inclinación del relieve, que hace parte de la subcuenca del río Molino. Se desarrolla este procedimiento utilizando las herramientas de análisis espacial 3d de Argis, el procedimiento de ejecuta de forma automática obteniendo 9 clases con intervalos de promedios irregulares, para el ejercicio se establece que las clases o valores tengan igual número de intervalos por lo que realiza un procedimiento de reclasificación para formatos raster. De esta forma se establecen

6 clases de intervalos iguales, como resultado de este procedimiento se obtiene una nueva imagen de tipo raster con la reclasificación, pero se deben asignar nuevamente los intervalos, finalmente se realiza un suavizado de los polígonos desde las propiedades de la capa con la aplicación cubic convolution.

5.10.1 Recorte Área de Estudio

Teniendo en cuenta que el modelo digital de elevación cubre un área mayor al límite de la cuenca, y su formato es de tipo raster, no se realiza el recorte del área de estudio con respecto al límite de la cuenca para iniciar la manipulación o el desarrollo de procedimientos. Teniendo en cuenta que si se recorta una imagen de tipo raster con respecto a una capa de tipo vector, van a quedar espacios en blanco o faltantes con respecto al polígono (límite de la cuenca). Cuando se recorta una imagen de formato raster, esta se recorta respecto a los píxeles que se encuentren dentro del polígono. Partiendo de lo anterior se establece realizar el recorte del área de estudio una vez terminado el procedimiento de obtención de las pendientes, se establece realizar el recorte utilizando las herramientas de extracción por máscara de análisis espacial de Arcgis.

6 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

En esta fase se establece describir en detalle cada uno de los procedimientos metodológicos que se establecieron y desarrollaron para el análisis multitemporal y el modelamiento de la cuenca, además mostrar los resultados obtenidos en cada uno de los procedimientos. A continuación se describe en detalle los procedimientos utilizados para el desarrollo del proyecto:

El desarrollo metodológico de la aplicación SIG se establece en 9 pasos:

6.1 Recolección, Clasificación y Análisis de la Información:

Una vez obtenida, clasificada y analizada toda la información bibliográfica e información establecida como insumos para el desarrollo del proyecto, se establece obtener información del área de estudio, por medio de puntos de muestreo, generando un diccionario de datos que permita obtener además de un punto de referencia, información correspondiente al área de estudio que permita la creación de una base de datos.

Puntos GPS y Elaboración del Diccionario de Datos:

Se estableció trabajar con un GPS Trimble Juno ST, con una precisión de dos a tres metros. Con el software Pathfinder se crea un diccionario de datos, el cual nos permite construir nuestra base de datos con la información adquirida en campo y establecer el tipo de geometría que se desea obtener con el punto gps. Una vez adquirida esta información se procede a la descarga de la misma en formato shapefile creando una capa o feature llamada Información de Campo la cual es utilizada como referencia para el proceso de clasificación supervisada.

En la elaboración del diccionario se estableció crear un feature o capa, a este feature se le dio un nombre (Punto de Referencia) y a su vez el software nos permite crearle sus atributos. Estos atributos se pueden crear de tipo menú, numérico, texto, foto. Para este caso se creó un atributo de tipo menú llamado tipo de cobertura en donde se establecen los tipos de cobertura que hacen parte de la metodología Corine Land Cover, otros de tipo numérico donde se establece la temperatura promedio de la zona, la humedad, y alguna de tipo texto donde se puede escribir una observación, el nombre del sitio en donde se toma el punto, y un atributo de tipo foto.

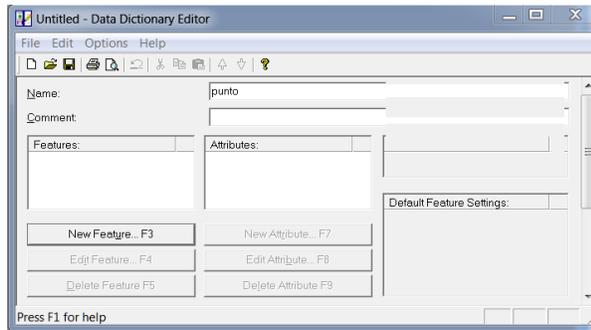


Figura No 1: Elaboración diccionario de Datos

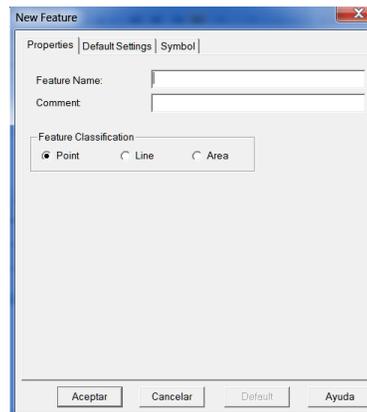


Figura No 2: Establecer el tipo de Geometría.

Finalmente se crean todos los features y sus atributos, se realiza una prueba de almacenamiento de la información y se dirige a campo a tomar los puntos de referencia.

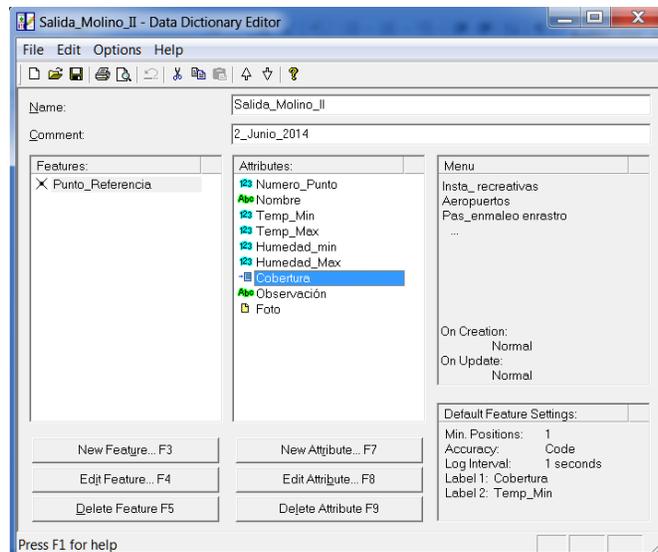


Figura No 3 Estructura Diccionario De Datos

6.2 Descarga y Procesamiento Digital de Imágenes de Satélite y Radar

Para el desarrollo de este proyecto se estableció utilizar imágenes de satélite landsat e imágenes de radar Aster GDEM. Para el procesamiento de las imágenes se establecieron los siguientes procedimientos:

6.2.1 Descarga de Imágenes:

Una vez descargadas las imágenes landsat 4, 7 y 8, se almacenan en carpetas identificadas por año (1989, 2001, 2014), con el objetivo de facilitar el almacenamiento y manipulación de la información. Una vez organizada la información se procede a darles un tratamiento de manera individual.

6.2.2 Composición Imágenes de Satélite

Una vez descargadas y almacenadas todas las bandas espectrales correspondientes a las imágenes a utilizar en este proyecto, y diferenciadas según la fecha de adquisición de las imágenes, se procede a descomprimir cada banda. Utilizando el software Erdas Imagine 9.2, con la herramienta Interpreter, Utilities, Layer Stack se adiciona banda por banda se establece el nombre de salida y la carpeta de almacenamiento de la imagen resultante, cabe señalar que el orden de adición de las bandas depende de la combinación que se haya establecido, para este caso se estableció adicionarlas en el orden de 1 a 7 para la Landsat 4 y 7, para la Landsat 8 se adicionaron las 11 bandas que la conforman. De esta manera se obtuvieron tres imágenes correspondientes a los años 1989, 2001 y 2014. Se describen las características de cada imagen de satélite utilizada en este proyecto:

6.2.2.1 Imagen Landsat TM 4

Esta imagen recibe este nombre teniendo en cuenta que fue adquirida del sensor o satélite Landsat 4, el cual fue lanzado al espacio el 16 de junio de 1982¹⁴. Esta imagen consta de siete bandas espectrales. Para este caso se adquieren las 7 bandas espectrales en formato Tiff.

6.2.2.2 Imagen Landsat TM 7:

Esta imagen es adquirida del satélite Landsat 7, este satélite fue enviado al espacio en el año 1998 y aún se encuentra en órbita. La imagen adquirida corresponde al año 2001 consta de 8 bandas: 7 bandas correspondientes a los colores principales (azul, verde y rojo), al infrarrojo cercano, medio y 1 banda

¹⁴ Satélite Landsat. Análisis Visual de Imágenes Obtenidas del Sensor ETM. www.landsat.com.

pancromática, esta última corresponde a un componente en una escala de grises que al fusionarse con las otras bandas mejora la resolución espectral.

6.2.2.3 Imagen Landsat 8 LDCM:

Las imágenes Landsat 8 obtenidas por el sensor (OLI) y (TIRS) constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9. Una banda nueva (1) (azul-profundo) es útil para estudios costeros y aerosoles. La nueva banda (9) es útil para la detección de cirrus. La resolución para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. Dos bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución. El tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste (106 km por 114 km)¹⁵.

Como Producto de la composición de las imágenes Landsat 4, 7 y 8 se obtuvieron las siguientes imágenes:

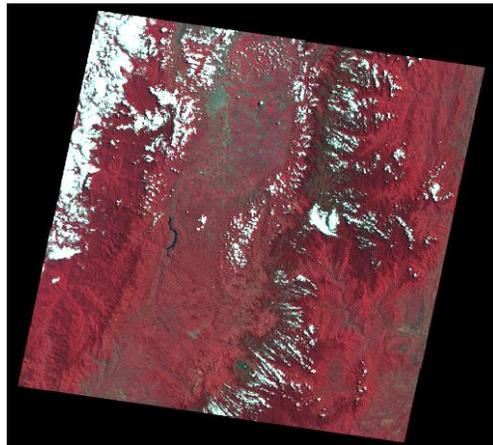


Figura No 4: Landsat 4 - 1989.

¹⁵ Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Grupo Interno de Trabajo en Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas. Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM.

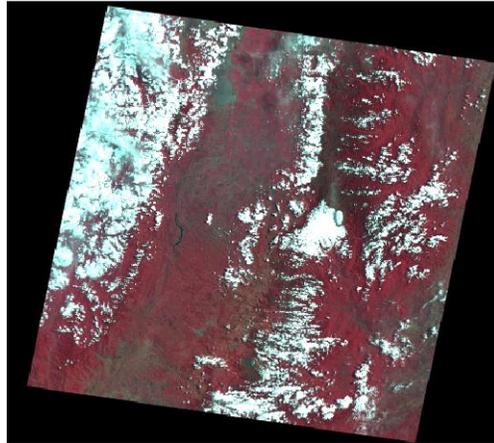


Figura No 5: Landsat 7 - 2001.

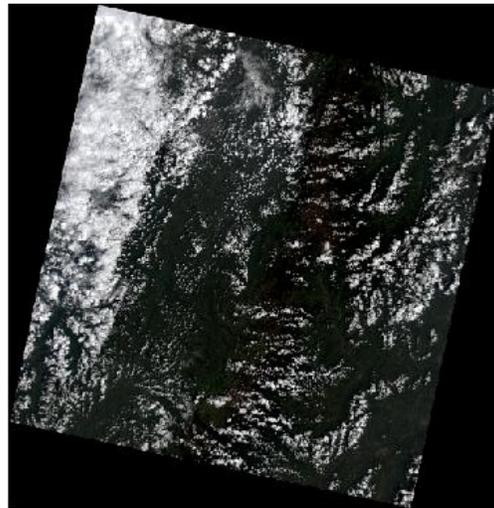


Figura No 6: Landsat 8 - 2014.



Figura No 7: Mosaico Imagen De Radar “SRTM” 30 Metros De Colombia.

6.2.3 Recorte del Área de Trabajo

Para recortar las imágenes de satélite, se utiliza el software Arcgis 10.2, el procedimiento consiste en cargar cada una de las imágenes de satélite, y el límite de la cuenca, con el objetivo de localizar el área de estudio, se genera una capa de geometría tipo polígono, que cubra el área de estudio, finalmente se realiza un recorte del área de interés.

Este procedimiento se realiza utilizando las herramientas de análisis espacial, específicamente la aplicación de extracción (extracción por máscara), dicho proceso consiste en realizar el recorte de las imágenes con respecto a la capa de tipo polígono (recorte), se establece el nombre al archivo de salida y la ubicación. De esta forma se obtienen las imágenes que servirán como insumo para la adquisición de los productos finales, este proceso se realiza con cada una de las imágenes de satélite y con la imagen de radar, obteniendo los siguientes resultados:



Figura No 8: Área de Estudio sin Recortar



Figura No 9: Área de Estudio Recortada

6.2.4 Mejoras de las Imágenes:

6.2.4.1 Sinergismo:

Se establece el sinergismo para las imágenes Landsat TM 4 y 7, a utilizar en el proceso de análisis multitemporal, con el objetivo de obtener un nivel de detalle de mayor calidad. Este proceso consiste en unir la Imagen resultante de la composición de las siete bandas espectrales, con la banda número ocho o Pancromática. Para el desarrollo de este proceso se utiliza el software Erdas Imagine 9.2 y las herramientas de interpretación (Interpreter, Spatial enhancement, Hpf Resolution Merge), estas herramientas permiten fusionar la imagen de satélite compuesta inicialmente (Imagen de 7 bandas), con respecto a

la banda numero 8 o pancromática, obteniendo una imagen final con una resolución espectral de 15 por 15 cm el proceso consiste en dividir el pixel inicial de 30 x 30cm y generar muchos más pixeles lo que permite una mejor resolución de la imagen. Se carga en Hith resolution la banda ocho o pancromática, en multiespectral input file se carga la Imagen producto de la composición, en este proceso se puede combinar solo algunas bandas según lo establezca quien realice el proceso o la necesidad del proyecto, para este caso se estableció combinar las siete bandas en un orden de 1 a 7 y esto se realiza en la opción use Layers finalmente se le da un nombre de salida y se procede a correr el proceso, obteniendo las imágenes resultantes (Figura No 12 y 13).

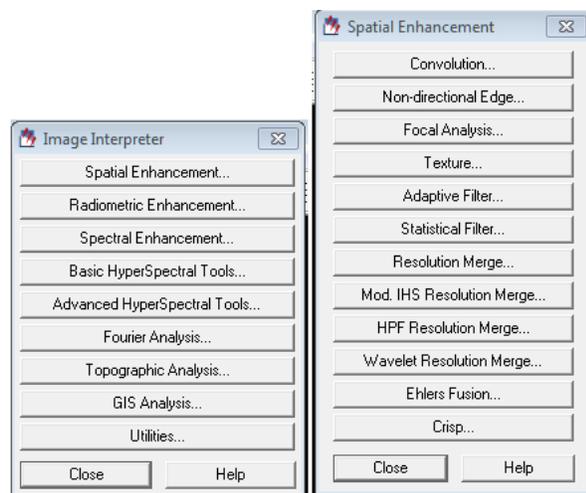


Figura No 10: Herramientas Proceso de Sinergismo

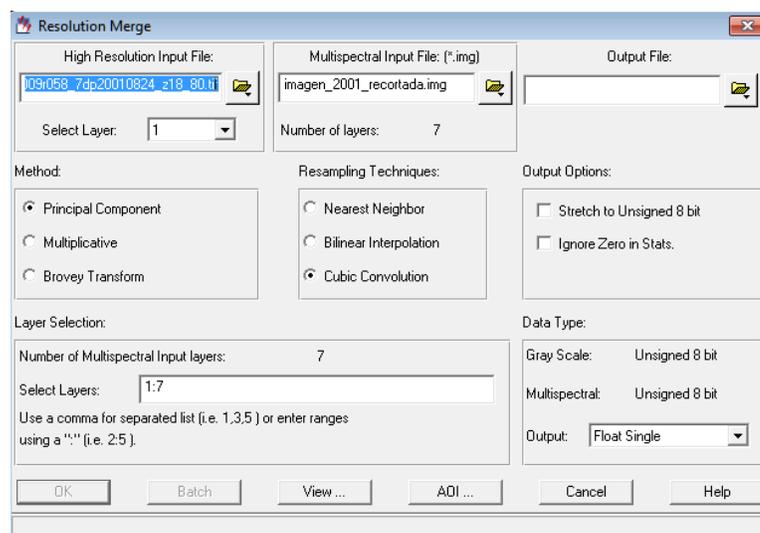


Figura No 11: Resolution Merge



Figura No 12: Landsat 4 - 1989



Figura No 13: Landsat 7 – 2001

6.3 Clasificación Supervisada

6.3.1 Metodología Corine Land Cover:

Este tipo de metodología ha sido adaptada para Colombia para trabajar a escalas 1:100.000, una vez se revisan e identifican los tipos y subtipos de cobertura vegetal, que se puedan encontrar en la zona de estudio, se procede a generar siglas para cada tipo de cobertura, facilitando el proceso de asignación y creación de firmas espectrales.

TIPO DE COBERTURA	SUBTIPOS	SIGLAS
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1. Zonas urbanizadas	
	1.1.1. Tejido urbano continuo	TUC
	1.1.2. Tejido urbano discontinuo	TUD
2. TERRITORIOS AGRICOLAS	2.3 Pastos	
	2.3.1 Pastos limpios	PL
	2.3.2 Pastos Arbolados	PA
	2.3.3 Pastos Enmalezados o Enrastrados	PER
3. BOSQUES Y AREAS SEMI NATURALES.	3.1. Bosques	
	3.1.1. Bosque Natural Denso	BND
	3.1.2. Bosque natural fragmentado	BNF
	3.1.5 Bosque Plantado	BPL
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva.	
	3.2.1 Pastos naturales y sabanas	PNYS
	3.2.2 Arbustos y matorrales	AYM
	3.2.4 Vegetación de páramo y subpáramo	
3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	AACPV	

	3.3.3 Tierras Desnudas Degradadas	TDOD
	3.3.4 Zonas quemadas	ZQ
5. SUPERFICIES DE AGUA	5.1 Aguas Continentales	
	5.1.1 Ríos (50 m)	R
	5.1.4 Embalses y cuerpos de agua	ECA

Tabla No 2 Coberturas Corine Land Cover Área de Estudio

Una vez obtenidos los posibles tipos de cobertura que se pueden encontrar en la zona de estudio se inicia el proceso de Clasificación supervisada con la utilización de las imágenes anteriormente creadas. Este proceso se realiza utilizando el software Erdas Imagine 9,2, y se ejecuta para cada una de las imágenes correspondientes a los tres periodos de tiempo.

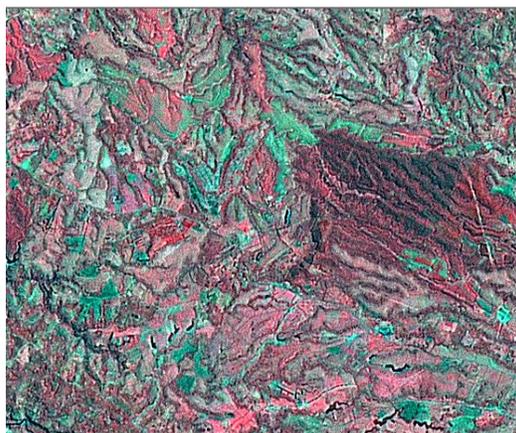


Figura No 14: Combinación 4-3-2(LandsatTM4 - 1989)

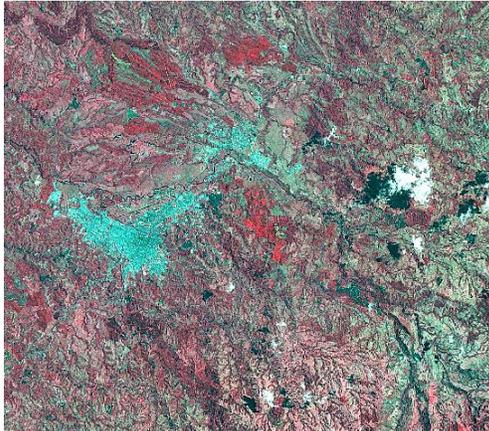


Figura No 15: Combinación 4-3-2(LandsatTM7- 2001)



Figura No 16: Combinación 4-3-2 (Landsat 8 - 2014)

6.3.2 Creación firmas Espectrales:

Una vez cargada la imagen de satélite a clasificar, y establecido el tipo de combinación R-G-B a utilizar en el viewer o espacio de trabajo, se realiza la identificación de coberturas y la creación de firmas espectrales. Utilizando las herramientas de clasificación del menú principal de Erdas, (CLASSIFIER, SIGNATURE EDITOR), se establece generar polígonos por medio de la herramienta AOI TOOLS. El procedimiento consiste en realizar un análisis exploratorio sobre la imagen a clasificar, se identifica el tipo de cobertura, se genera un polígono sobre la misma, y desde la opción create new signature se genera la firma. De esta forma se crean todas las firmas que correspondan a las coberturas identificadas cubriendo la totalidad de la Imagen. Utilizando esta ventana se hace edición de las firmas estableciendo nombre y color a cada una de ellas, de acuerdo a la metodología Corine Land Cover. Para este caso se

utilizan las siglas establecidas anteriormente para hacer el proceso más rápido por ejemplo ríos (R,R1,R2), Bosque Natural Denso(BND1, BND2, BND3). Finalmente se realiza un merge entre las firmas que tienen las mismas características, una vez terminado este procedimiento, se guarda la tabla con las firmas espectrales generadas. Estas se crean en un archivo de tipo .Sig, se establece el nombre y la carpeta de salida.

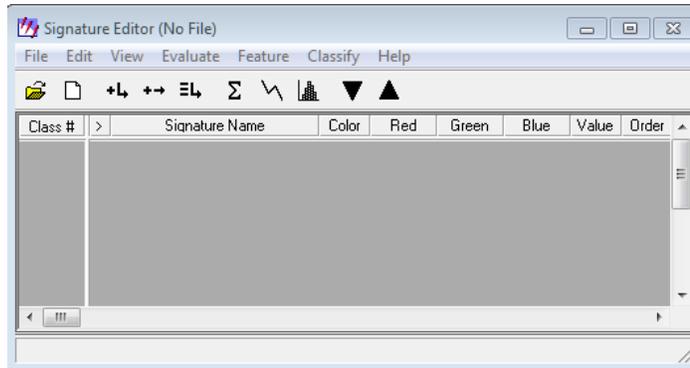


Figura No 17: Tabla Signature Creación de firmas Espectrales

Class #	>	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A	FS
1		BND		0.905	0.313	0.322	1	1	826	1.000	X	X	X	X	
2		BND_1		0.663	0.390	0.359	2	2	2218	1.000	X	X	X	X	
3		TD00		0.272	0.678	0.560	3	3	308	1.000	X	X	X	X	
4		TD001		0.397	0.691	0.599	4	4	143	1.000	X	X	X	X	
5		TD002		0.265	1.000	0.892	5	5	130	1.000	X	X	X	X	
6		PNYS		0.739	0.525	0.568	6	6	2037	1.000	X	X	X	X	
7		PNYS1		0.795	0.481	0.555	7	7	841	1.000	X	X	X	X	
8		ríos		0.000	0.033	0.000	8	8	1	1.000	X	X	X	X	
9		RÍOS1		0.000	0.033	0.000	9	9	1	1.000	X	X	X	X	
10		RÍOS		0.000	0.000	0.000	10	10	4	1.000	X	X	X	X	
11		AY M		0.752	0.648	0.652	11	11	328	1.000	X	X	X	X	
12		AY M1		0.639	0.647	0.616	12	12	157	1.000	X	X	X	X	
13		TU		0.099	1.000	0.913	13	13	4955	1.000	X	X	X	X	
14		BNF		0.726	0.483	0.536	14	14	1339	1.000	X	X	X	X	
15		PER		0.816	0.688	0.672	15	15	922	1.000	X	X	X	X	
16		PER1		0.762	0.652	0.645	16	16	435	1.000	X	X	X	X	
17		TD004		0.538	0.944	0.825	17	17	25	1.000	X	X	X	X	

Figura No 18: Firmas Espectrales Imagen Landsat 1989

Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A	FS
1	BND		0.905	0.313	0.322	1	1	826	1.000	X	X	X		
2			0.663	0.350	0.359	2	2	2218	1.000	X	X	X		
3	TDOD2		0.265	1.000		5	5	130	1.000	X	X	X		
4	PNYS		0.739	0.525	0.568	6	6	2037	1.000	X	X	X		
5	PNYS1		0.795	0.481	0.555	7	7	841	1.000	X	X	X		
6	AY M		0.752	0.648	0.652	11	11	328	1.000	X	X	X		
7	AY M1		0.639	0.647	0.616	12	12	157	1.000	X	X	X		
8	TU		0.099	1.000	0.913	13	13	4955	1.000	X	X	X		
9	BNF		0.726	0.483	0.536	14	14	1339	1.000	X	X	X		
10	TDOD4		0.538	0.944	0.825	17	17	25	1.000	X	X	X		
11	TDOD		0.311	0.683	0.573	18	18	451	1.000	X	X	X		
12	PER		0.798	0.677	0.664	3	19	1357	1.000	X	X	X		
13	RIOS		0.000	0.000	0.000	4	20	6	1.000	X	X	X		

Figura No 19: Firmas Espectrales editadas Imagen Landsat 1989

6.3.3 Agrupación Espectral:

El procedimiento de Agrupación espectral hace referencia a la ejecución final del proceso de clasificación de cobertura vegetal de acuerdo a los tipos de cobertura vegetal definidos (Firmas Espectrales) para cada uno de los periodos (1989, 2001, 2014). Como producto de este proceso se obtiene una nueva imagen de tipo raster la cual adquiere todas las propiedades definidas en el proceso de creación de firmas espectrales (color, nombres). El proceso consiste en la utilización de las herramientas de clasificación del software Erdas Imagine (classifier, supervised classification), se direcciona la imagen original (Recorte área de estudio) a clasificar y la tabla de firmas espectrales que se creó para la imagen (signature).



Figura No 20: Agrupación Espectral

El mismo procedimiento se realizó para las tres imágenes obteniendo los siguientes resultados:

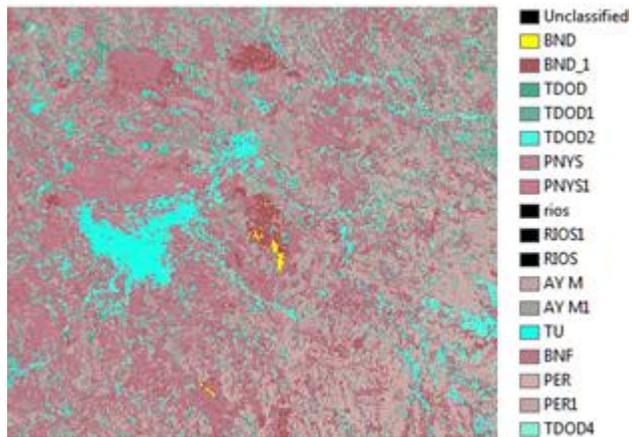


Figura No 21 Clasificación Supervisada Imagen LandsatTM 1989

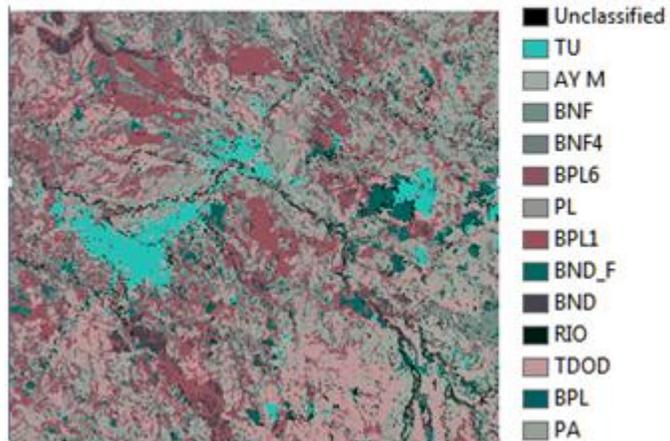


Figura No 22: Clasificación Supervisada Imagen LandsatTM 2001

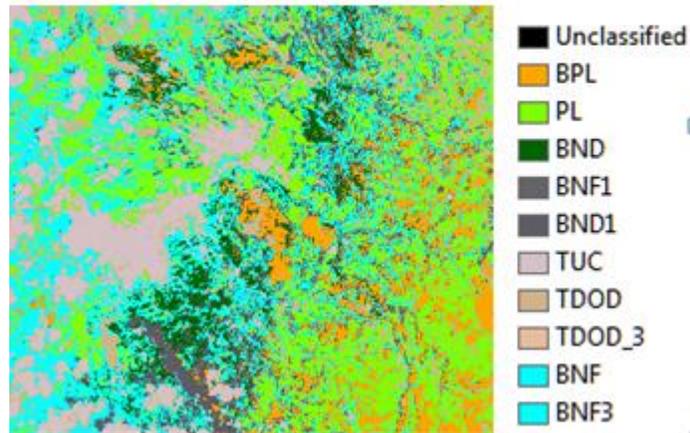


Figura No 23: Clasificación Supervisada Imagen Landsat 8 2014

6.3.4 Control De Calidad:

Se realiza el control de calidad cargando en un mismo viewer la imagen utilizada como insumo y la imagen resultado del proceso de clasificación con el objetivo de comparar las áreas clasificadas, esto se realiza utilizando la herramienta Utility, Swipe, del Viewer desplazando una Imagen sobre la otra.

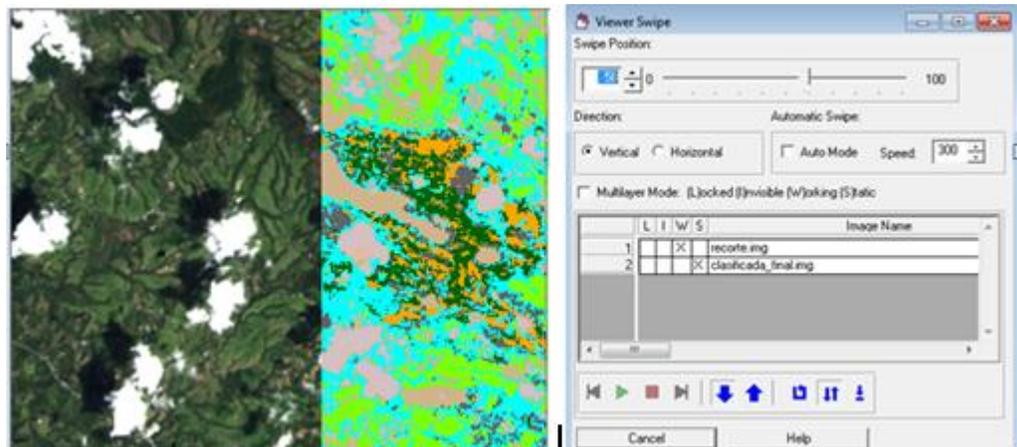


Figura No 24 Control de Calidad

6.3.5 Reclasificación o Recodificación Global:

Como resultado del proceso de clasificación se obtuvo una imagen de acuerdo a los tipos de cobertura establecidos en el proceso de generación de firmas espectrales, pero se observa que existen algunas firmas que hacen referencia a una misma capa o cobertura vegetal, de esta forma se establece revisar la tabla de atributos y de ser necesario fusionar aquellas coberturas que cumplan las mismas características. En casi todos los procesos de clasificación de cobertura vegetal se encuentran firmas espectrales que hacen referencia a un mismo elemento de la superficie terrestre, solo que al observar sobre la imagen original se puede identificar dicho elemento con características diferentes (tonos o colores diferentes), por ejemplo el elemento agua se identifica en diferentes tonalidades según factores como la profundidad, el nivel de contaminación, etc. Lo que significa que el foto interprete genere varias firmas con respecto a ese elemento, el cual a la hora de una clasificación no es necesario que se diferencie por un color o clase diferente, para este caso solo necesitamos ubicar o representar el agua como un elemento dentro de la clasificación de cobertura, y que obtenga un mismo color, así sucederá con muchas más capas. Partiendo de lo anterior se establece fusionar todas aquellas capas o firmas identificadas desde las herramientas de interpretación (Interpreter, Gis Analysis – Recode). Como resultado de este proceso se obtiene una nueva imagen.

Value	New Value	Histogram	Red	Green	Blue	Opacity	Class Names
0	0	2907.0	0.000	0.000	0.000	0.0	Unclassified
1	1	249196.0	1.000	0.647	0.000	1.0	BPL
2	2	503478.0	0.498	1.000	0.000	1.0	PL
3	3	108605.0	0.000	0.392	0.000	1.0	BND
4	4	165139.0	0.389	0.395	0.413	1.0	BNF1
5	3	52253.0	0.368	0.361	0.404	1.0	BND1
6	6	179513.0	0.839	0.757	0.774	1.0	TUC
7	5	205360.0	0.824	0.706	0.549	1.0	TDOD
8	0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
9	9	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
10	10	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
11	11	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
12	5	69849.0	0.908	0.737	0.625	1.0	TDOD_3
13	13	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
14	14	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
15	15	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
16	16	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
17	17	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
18	18	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
19	4	460412.0	0.000	1.000	1.000	1.0	BNF
20	20	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
21	21	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
22	22	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
23	23	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
24	24	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
25	25	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
26	26	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
27	27	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
28	28	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
29	29	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0	
30	4	109940.0	0.000	1.000	1.000	1.0	BNF3

Figura No 25: Tabla de Recodificación

6.3.6 Generalización de la Clasificación

Como resultado del proceso de clasificación, y de recodificación se observa que las imágenes resultantes tienen grupos de píxeles aislados que hacen referencia a algún tipo de cobertura cuya área representada, no es significativa para las escalas que requieren los productos. Por esta razón se establece ejecutar filtros los cuales realizan un proceso de agrupamiento o absorción de aquellas clases de píxeles aislados, uniéndolos a los píxeles de mayor representación. Este procedimiento se realiza utilizando las herramientas de Interpretación (Interpreter, Gis Analysis), y se establece ejecutar los siguientes filtros:

6.3.6.1 Filtro Neighborhood:

Se define utilizar este filtro teniendo en cuenta que nos permite realizar un proceso matemático de vecindad, asociando las áreas aisladas de píxeles no significativas con las más significativas. Como resultado de este proceso se obtendrá una nueva imagen de tipo raster la cual cumple con unas características diferentes a las imágenes anteriores. Utilizando las herramientas de interpretación (Interpreter, Gis Analysis, Neighborhood), se direcciona la imagen resultado del proceso de reclasificación, se establece una ruta y nombre de salida para la nueva Imagen a generar, en la opción size se establece el tamaño del filtro. Este tipo de filtro nos permite establecer entre un tipo de filtro bajo o uno de mayor tamaño. Para este ejercicio se estableció aplicar el filtro bajo que corresponde a 3x3 aunque existe otro que se conoce como 7x7. Se utiliza este tipo de filtro (3x3) y una vez terminado se revisa la imagen resultante de este proceso, se verifica si aún existen muchas áreas con píxeles aislados, de presentarse áreas con píxeles aislados se vuelve a generar la aplicación del filtro pero esta vez se carga la imagen recién generada y se establece otro nombre de salida.

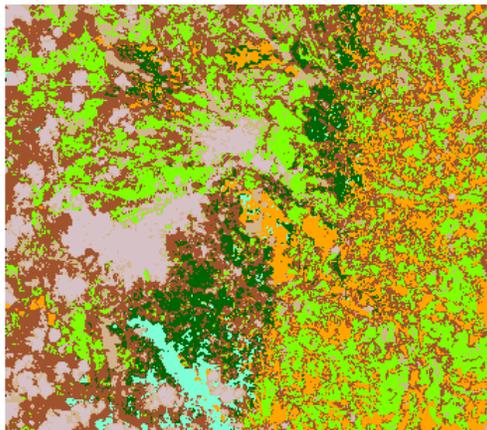


Figura No 26: Filtro Neighborhood Imagen Landsat8

6.3.6.2 Filtro Clump:

Este tipo de filtro consiste en agrupar los píxeles cuyos niveles digitales sean iguales, desde la herramienta Interpreter, Gis Análisis, CLUMP. Para generar este tipo de filtro se direcciona la Imagen resultante del filtro Neighborhood y se asigna el nombre de salida, para este caso recibe el nombre de Clump. Se genera un nuevo viewer y se revisa la imagen resultante, también se puede revisar los atributos de la imagen y compararlos con la imagen del filtro anterior.

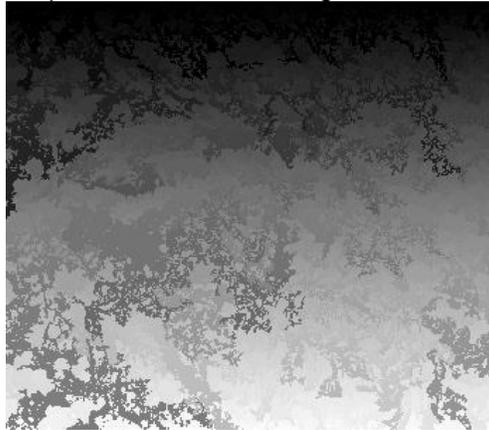


Figura No 27: Filtro Clump Imagen Landsat8

6.3.6.3 Filtro Eliminate:

Este tipo de filtro es un algoritmo y consiste en eliminar los polígonos pequeños, y los une a los polígonos de áreas mayores. Este filtro se aplica desde la herramienta Interpreter, Gis Análisis, Eliminate. Se selecciona como imagen de entrada la imagen resultante del filtro Clump, se establece un nombre de salida que corresponde al nombre del filtro, se activa la opción Ignore zero in Stat., y se asigna en la ventana Minimum – 100 píxeles, lo que representa en terreno 9 hectáreas. Teniendo en cuenta que la escala final recomendada para imágenes Landsat es de 1:100.000, entonces polígonos menores de 3 mm x 3mm no estarán incluidas en el mapa).

Al abrir la imagen resultante en el viewer y al abrir la tabla de atributos se observa que los nombres de las clases se han borrado, y los colores aparecen en una gama de grises. Para recuperar el nombre y el color de las clases o firmas espectrales se debe realizar un proceso de importación de la tabla de atributos.

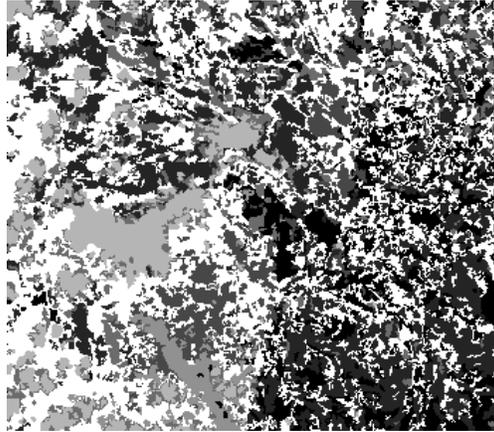


Figura No 28: Filtro Eliminate Imagen Landsat8

6.3.7 Importar Tabla de Atributos

Para insertar de nuevo los atributos a la imagen Eliminate, se puede hacer desde la tabla de atributos adicionando la columna o campo con el nombre de clase y manualmente modificar los colores, para este caso se estableció importar la tabla de atributos de una de las imágenes antes generadas para este caso se importó de la tabla de atributos de la imagen reclasificada (clasificación supervisada) el nombre y el color de las clases. Desde la opción Raster Attribute, se estableció realizar un merge o unión de las columnas se seleccionaron todas las columnas menos la columna histograma.

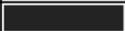
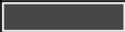
Row	Histogram	Color	Opacity
0	0		1
1	247195		1
2	498512		1
3	143635		1
4	206942		1
5	50148		1
6	174431		1
7	0		1
8	781504		1

Figura No 29 Tabla de Atributos Eliminate ImagenLandsat8

Column	Input Column Name	New Column Name	Overwrite
1	Histogram	Histogram	X
2	Color	Color	X
3	Red	Red	X
4	Green	Green	X
5	Blue	Blue	X
6	Opacity	Opacity	X
7	Class_Names	Class_Names	

Figura No 30 Tabla de Atributos a Importar (Clasificación Supervisada)

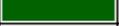
Row	Histogram	Color	Opacity	Class Names
0	0			Unclassified
1	247195		1	BPL
2	498512		1	PL
3	143635		1	BND
4	206942		1	TDOD
5	50148		1	BND1
6	174431		1	TUC
7	0		0	
8	781504		1	BNF

Figura No 31: Tabla de Atributos Imagen Eliminate (Merge)

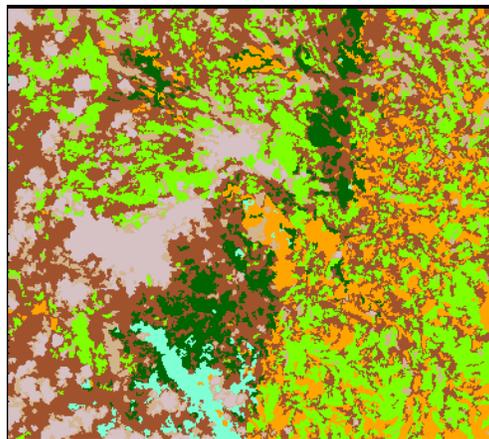


Figura No 32 Filtro Eliminate Final Imagen Landsat8

6.4 Vectorización de las imágenes

Este procedimiento consiste en exportar las imágenes resultantes de cada uno de los periodos de tiempo establecidos (1989, 2001, 2014) a formato vector,

utilizando el software Arcgis 10.2 , posteriormente se realiza un proceso de filtrado y suavizado de los polígonos correspondientes a cada clase.

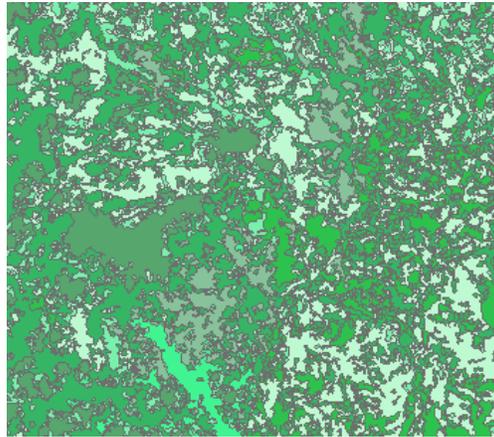


Figura No 33Figura Vector Landsat8

6.4.1 Recorte Área de estudio:

Se establece recortar las capas obtenidas correspondientes a cada año, de acuerdo al límite de la cuenca, este procedimiento se realiza por medio de las herramientas de geo procesamiento Analisis Tools, Extract, clip, del software arcgis 10, 2 obteniendo las siguientes imágenes:

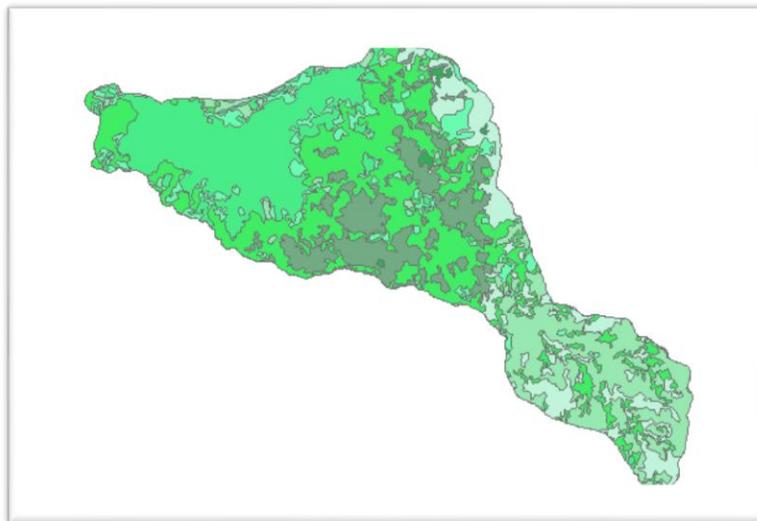


Figura No 34 Cobertura Vegetal 2014

6.4.2 Filtro Eliminate:

Utilizando la herramienta Data Management tools, eliminate, se establece eliminar los polígonos pequeños que se encuentran en un rango de área menor a tres hectáreas. De esta forma se seleccionan los polígonos a eliminar, en la opción eliminate se selecciona la capa de entrada que para este caso es el la capa Clasificación supervisada que se generó como producto final, se establece un nombre y carpeta de salida para la nueva capa. Este procedimiento se realiza para los tres periodos de tiempo que se establecieron para el análisis multitemporal.

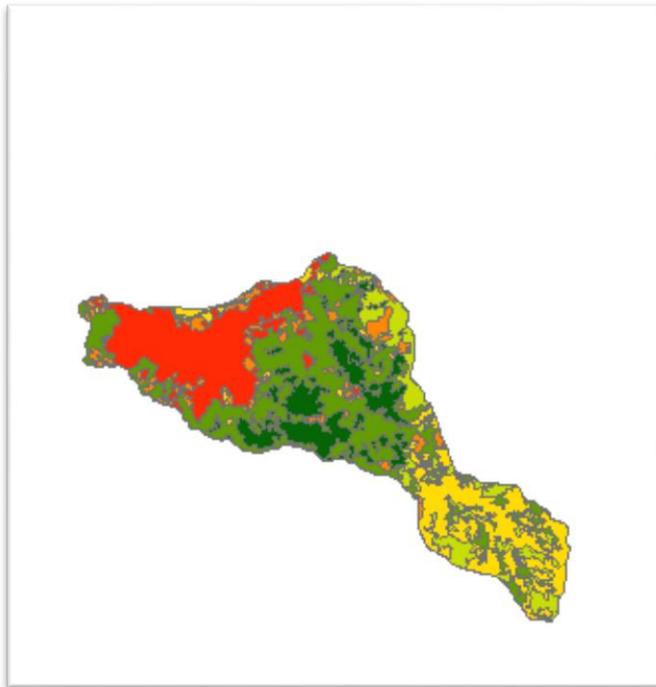


Figura No 35: Cobertura Vegetal 2014 Final

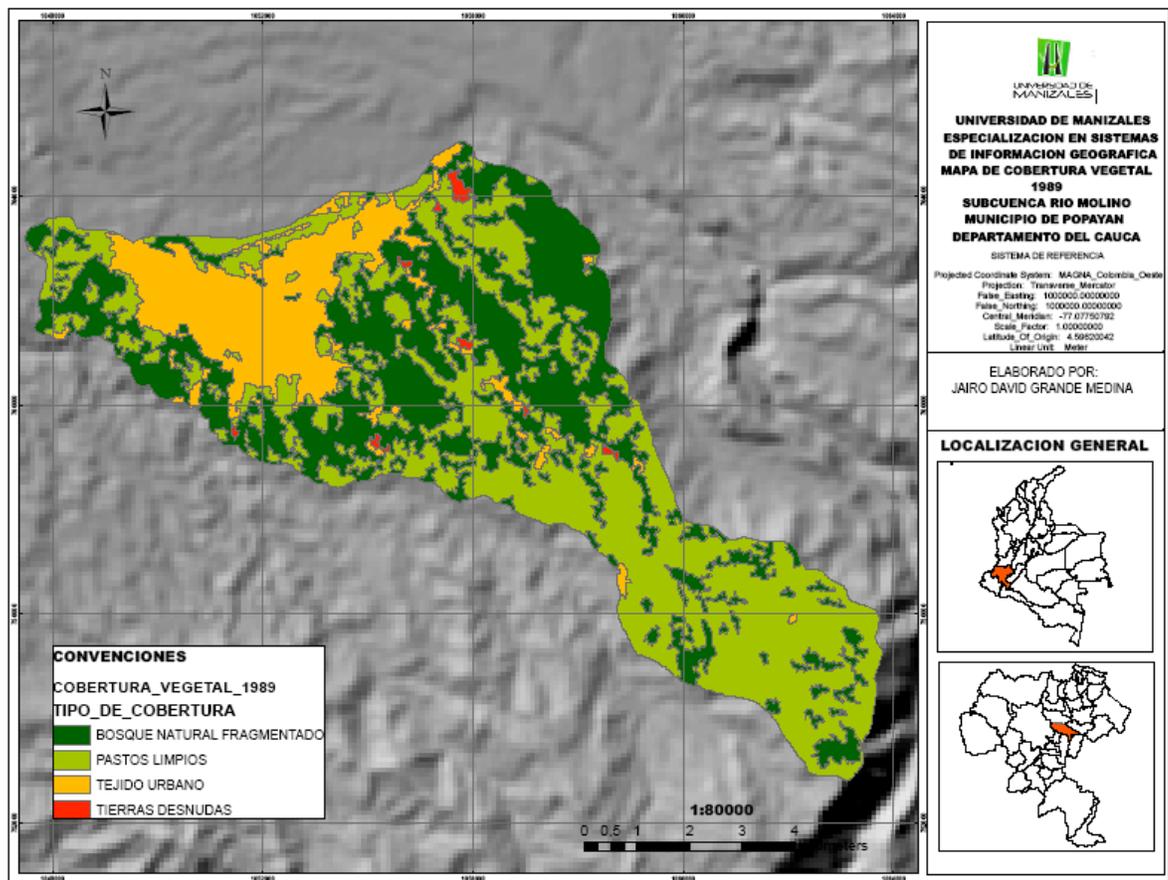
6.5 Establecer usos del suelo

Los usos del suelo se establecieron de acuerdo a las actividades económicas más representativas que se desarrollan en la zona de estudio. Esta Información fue recolectada en la visita de campo, la cual consistió en la toma de 50 puntos de referencia, con Gps Trimble el cual a su vez nos permitió recolectar información adicional al punto de referencia como características del paisaje y las actividades comerciales más representativas de la zona. La toma de puntos de referencia se

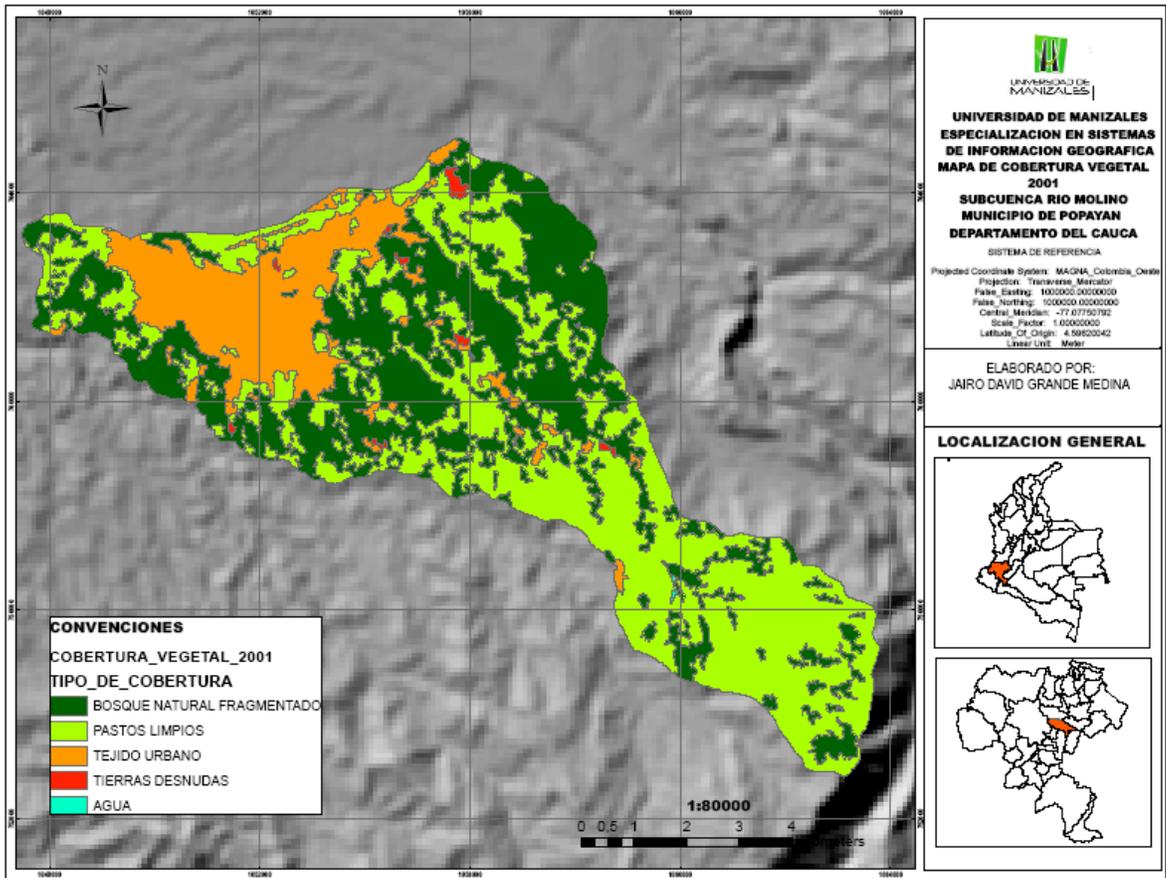
llevó a cabo en la parte alta y baja de la Subcuenca del río Molino ubicada al oriente del municipio de Popayán.

6.6 Mapas Finales de Cobertura Vegetal

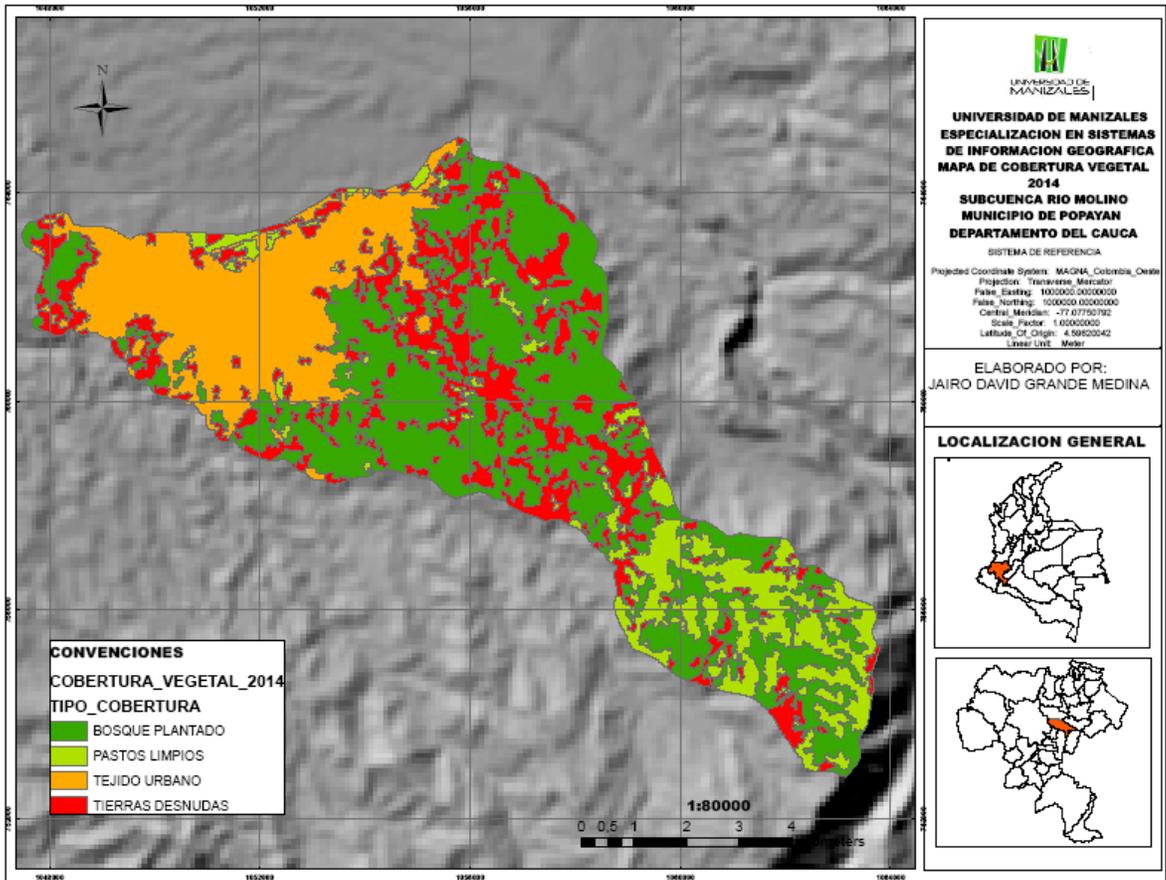
Una vez obtenidas todas las capas producto del proceso de análisis y usos del suelo para los años 1989, 2001 y 2014, se establece elaborar los mapas de cobertura vegetal y usos del suelo para cada uno de los años establecidos en el proyecto. De esta forma demostrar cuales han sido los cambios que ha sufrido el ecosistema de la subcuenca del río molino y como estos cambios afectan o benefician al sostenimiento de la misma.



MAPA No 2: Cobertura Vegetal Año 1989



MAPA No 3: Cobertura Vegetal Año 2001



MAPA No 4: Cobertura Vegetal Año 2014

6.7 Modelamiento Digital de la Cuenca

El proceso de modelamiento digital de la cuenca se establece con el objetivo de establecer la red hídrica e identificar las cuencas hidrográficas (divisoria) que hacen parte de la subcuenca del río Molino, además generar nuevos elementos cartográficos a partir de modelos digitales de elevación, (curvas de nivel, red de drenajes, dirección de flujo, flujos de acumulación, divisorias de cuencas, etc.).

Se utiliza una imagen de radar de 30 metros de resolución, con la que se establece generar un modelo de sombras y a partir del mismo generar nuevos productos, utilizando el software Arcgis 10.2.

6.7.1 Recorte del área de estudio

Para recortar la imagen de radar se realiza el mismo procedimiento utilizado en las imágenes de satélite Land Sat. Se establece recortar un área donde se encuentre la zona de estudio, una vez obtenida la imagen resultante se procede a generar los productos utilizando la herramienta Arc Hydro de Arcgis.

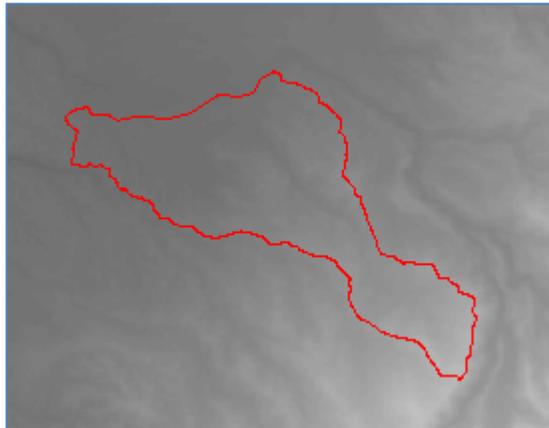


Figura No 36: Recorte Imagen de Radar “SRTM”

6.7.2 Procesamiento Imagen de Radar

Como elemento o insumo principal se establece generar un modelo de sombras utilizando las herramientas de modelamiento del software Arcgis, específicamente las de análisis espacial Surface (superficie), Hillshade (sombreado). Como resultado se obtiene una nueva Imagen de tipo raster (modelo de sombras), en el

cual observamos mayor detalle del relieve, las elevaciones, las cuencas, subcuencas y microcuencas que se encuentran dentro del área de estudio. Cabe resaltar que de tener una imagen con mayor resolución, mejor será el detalle del modelo de sombras y de los productos.

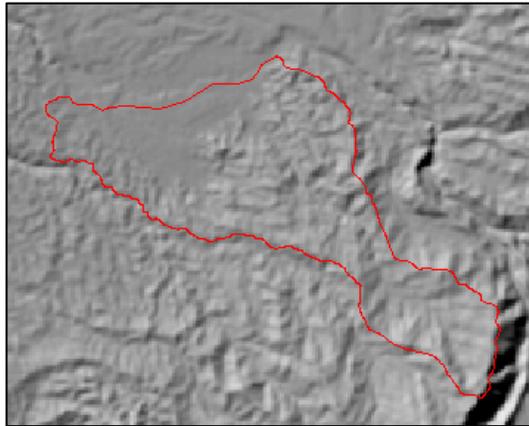


Figura No 37: Modelo De Sombreado

6.8 Corrección de la Imagen o Modelo Digital de Elevación

Una vez obtenida la Imagen o insumo principal para el modelamiento de la subcuenca del río Molino se establecen realizar el siguiente proceso:

6.8.1 Corrección de la Imagen Base:

Se tiene como insumo un recorte o imagen del área de estudio, de formato raster. Este tipo de imagen puede contener celdas con valores iguales a cero catalogados como huecos o vacíos, para corregir o evitar este tipo de características en la imagen se establece como punto de partida realizar un procedimiento llamado **“Fill Sink”** el cual consiste en rellenar los huecos o vacíos de la imagen o interpolar las celdas cuyo valor sea igual a cero, asociando dichas celdas a celdas vecinas cuyos valores sean mayores. Como producto de este se genera una nueva imagen de salida corregida y en el mismo formato (TIFF). Es a partir de este proceso que se inicia el modelamiento o delimitación de la cuenca.

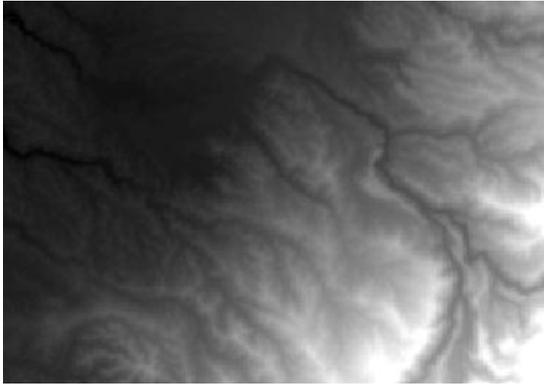


Figura No 38 Imagen Corregida “Fill Sink”

6.8.2 Calculo de Direcciones de Flujo

Para calcular las direcciones de flujo se utiliza la imagen resultante del anterior procedimiento fill sink, o sea la imagen corregida, el cálculo consiste en obtener las direcciones que tomaría el agua en caso de alcanzar cada celda, la imagen de salida es una imagen raster compuesta por varios colores, el programa por defecto establece los niveles de valores en lo que va a representar las direcciones, para este caso establece ocho niveles o valores como se muestra en la siguiente Figura.

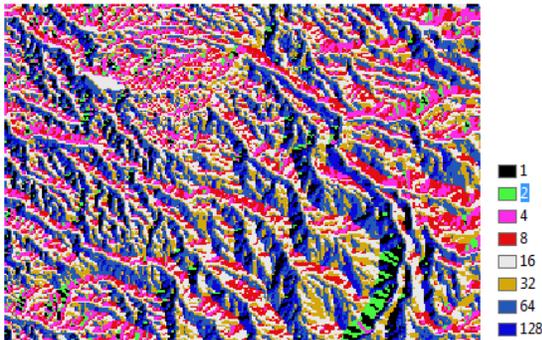


Figura No 39: Direcciones de Flujo “Flow Direction”

6.8.3 Calculo de Acumulación de los Drenajes

Este proceso de acumulación se realiza utilizando la imagen resultado del proceso de direcciones de flujo, con el objetivo de obtener una imagen de salida con la delimitación de los drenajes que hacen parte del área de estudio. Si en este proceso se tuviera como insumo una imagen raster correspondiente a corrientes,

se puede realizar un proceso de ponderación el cual a su vez puede corregir las direcciones de flujo y obtener mejores resultados, para el cálculo de acumulación.

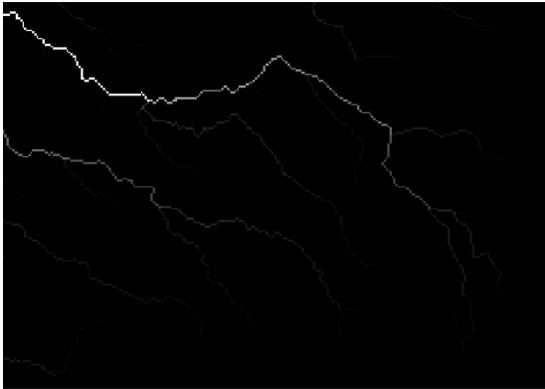


Figura No 40: Acumulación de Flujo “Flow Accumulation”

Como se ve en la Figura anterior, al realizar este procedimiento se identifican en color blanco los drenajes o afluentes que hacen parte del recorte o área de estudio que se estableció, para este caso se identifica en un color más intenso la cuenca principal que es el río Cauca y algunas sub cuencas y micro cuencas que hacen parte de la cuenca principal. Para identificar cual es nuestra sub cuenca objetivo de este estudio sobreponemos el límite ya establecido por las entidades ambientales y administrativas del municipio de Popayán. Se observa el lugar de nacimiento y de desembocadura de la misma, cabe resaltar que si realizara este ejercicio con un modelo digital de elevación con más detalle, se obtendrían resultados más precisos.



Figura No 41: límite de la Sub cuenca Rio Molino

6.8.4 Definición de la red de Drenaje “Stream Definition”:

Con esta herramienta se establecen los valores para generar la red de drenaje, según los valores establecidos se puede generar las redes de drenajes primaria, secundaria, y terciaria. Este ejercicio se puede realizar desde la calculadora Raster de las herramientas de análisis espacial, estableciendo valores, o desde la herramienta hydrology utilizando la aplicación basin que genera los drenajes de una manera más general, o desde la herramienta Arc Hydro estableciendo como capa de entrada la capa resultante del proceso de acumulación de flujo, (flow accumulation). Esta última metodología es la utilizada para la elaboración de la red de drenaje, obteniendo el siguiente resultado:

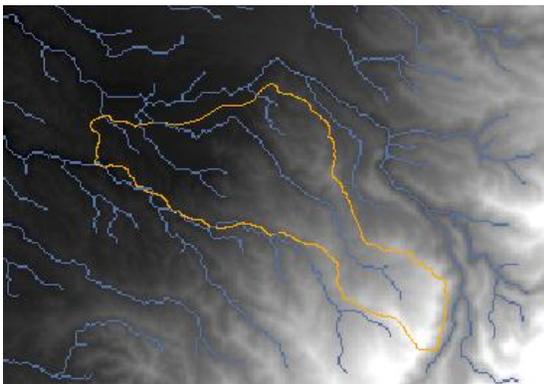


Figura No 42: Delimitación Red de Drenaje

“En esta fase se clasifican las celdas con acumulación de flujo superior a un umbral especificado por el usuario como celdas pertenecientes a la red de flujo. El umbral debe ser especificado como el número de celdas vertientes a la que se está clasificando en cada momento. Aquí se debe entrar a sopesar que valor sería el más indicado, ya que si el valor de acumulación es muy bajo muchos pixeles serán seleccionados como pertenecientes a la red hídrica, si por lo contrario, el valor del pixel es muy alto solo aquellos drenajes de orden alto serían definidos como red hídrica. En otras palabras, seleccionar un valor bajo del umbral significa que obtendremos afluentes pequeños en nuestra red de drenajes, en cambio un valor alto, modela los drenajes de mayor tamaño”¹⁶.

¹⁶ Delimitación de Cuencas con Arcgis. Herramienta hydrology de spatial analyst tolos. www Agua y Sig.com.

6.8.5 Segmentación de las Corrientes “Stream Segmentation”

Para este ejercicio se utilizan las capas raster de dirección de flujo “Flow Direction”, la capa de la red de drenaje “Stream Definition”. La capa de salida recibe un nombre por defecto o se le puede colocar un nombre de salida. Se obtiene como resultado que los valores obtenidos van de 1 a 104.



Figura No 43: Segmentación Red de Drenaje

6.8.6 Delimitación Automática de Cuencas “Catchmen Delineation”

Este procedimiento nos permite obtener de forma automática la generación de las cuencas o divisorias de cuencas hidrográficas a partir de la imagen raster que se han ido produciendo en los ejercicios anteriores (Flujo de Dirección, Segmentación de corrientes), se establece el nombre de Salida que para este caso es Cuencas Raster.

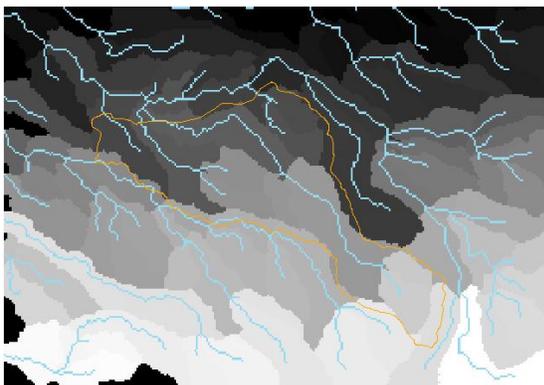


Figura No 44: Delimitación de las Cuencas Hidrográficas

6.8.7 Exportar a Shapefile las Cuencas “Catchmen Polygon Processing”

Por medio de esta herramienta se exporta la divisoria de cuencas de formato Raster a Vector, para este caso de tipo shapefile que es el formato nativo de Arcgis.

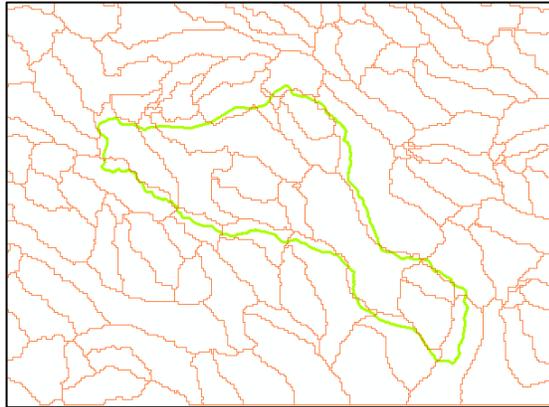


Figura No 45 Divisoria de Cuencas Hidrográficas en formato Shapefile

6.8.8 Exportar a Shapefile la Red de Drenaje “Catchmen line Processing”

En los productos anteriores obtuvimos la red de drenaje en formato raster, ahora las pasamos a formato vector (shapefile), con una geometría de tipo línea. De esta forma hemos obtenido como resultado el modelamiento de muchas cuencas hidrográficas que hacen parte del recorte o área establecida en el modelo digital de Elevación, que fue elaborado a partir de una imagen de radar. Por último se procede a recortar las divisorias de cuencas que hacen parte de nuestro proyecto (Subcuenca río Molino).

6.9 Recorte Divisoria de Cuencas y Red de Drenajes

Se establece recortar las divisorias de cuencas y la red de drenaje que se encuentran dentro del límite o divisoria de la subcuenca del río Molino, para este caso se establece realizar este ejercicio por medio de las herramientas de extracción o geo procesamiento (Clip), para el cual se recortan las capas resultantes: red de drenaje y cuencas de formato shapefile en función de la capa límite de la cuenca de tipo polígono suministrada por las entidades locales.

Como resultado se obtienen algunos afluentes que hacen parte de la red principal, y la red principal (subcuenca río Molino). Se obtuvieron 23 divisorias de cuencas las cuales hacen parte de otros afluentes, los cuales desembocan y se encuentran dentro de la subcuenca del río Molino.

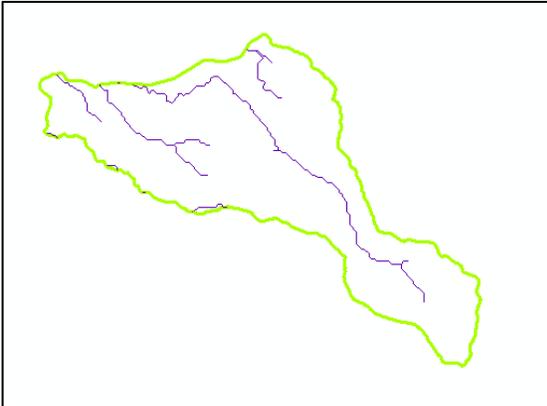


Figura No 46: Red de Drenajes Subcuenca Rio Molino

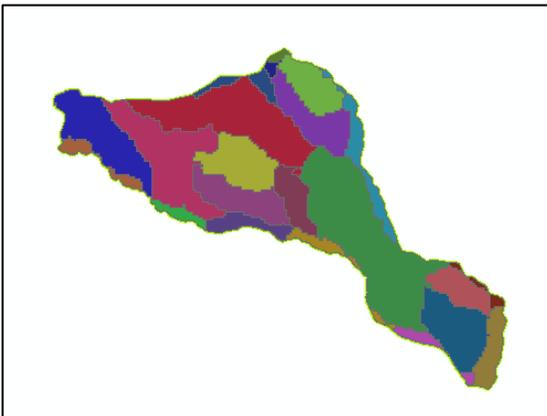


Figura No 47: Divisoria de Cuencas Subcuenca Rio Molino

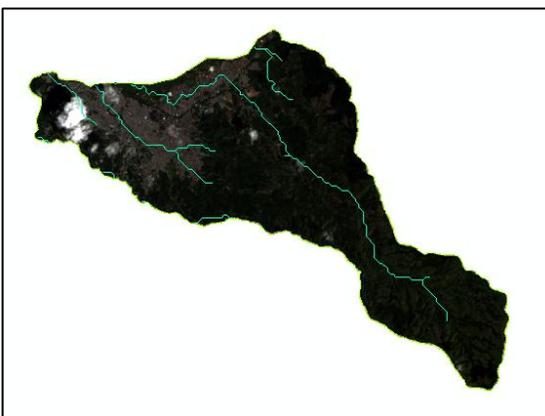


Figura No 48: Red de Drenajes sobre Figura Land Sat 2014

6.10 Mapa de Pendientes

Para el desarrollo de este procedimiento se utilizan las herramientas de análisis espacial 3d de ArcGIS, (Raster Surface, Slope), se realiza el procedimiento de forma automática utilizando como insumo principal el modelo digital de elevación (MDE), se direcciona a la carpeta de salida y se establece un nombre para la imagen de salida de formato raster (Pendientes). Se obtiene una imagen de tipo raster con 9 clases con intervalos de promedios irregulares (2,53, 2,71), ver figura No 49.

Para este trabajo se establece que el mapa de pendientes debe tener seis clases, y los valores o intervalos deben ser iguales, de esta forma se realiza un procedimiento de reclasificación para formatos raster (Raster Reclass, Reclassify).

Se obtiene como resultado una imagen de tipo raster la cual le damos un nombre de salida, a esta nueva imagen se le debe asignar los rangos o valores debido a que la imagen resultado del proceso de reclasificación se genera con el número de clases y no con los valores que representa. (Ver figuras No: 50-51-52-53), Finalmente se realiza un suavizado de los polígonos desde las propiedades de la capa con la aplicación cubic convolution.

Como resultado se obtienen 6 clases con valores entre 0 y 46,04, con una diferencia de 7,67 entre un valor y otro.

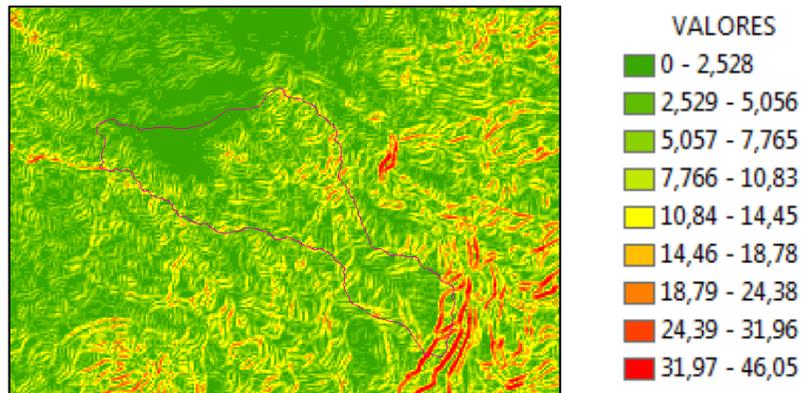


Figura No 49: Pendientes Área de Estudio

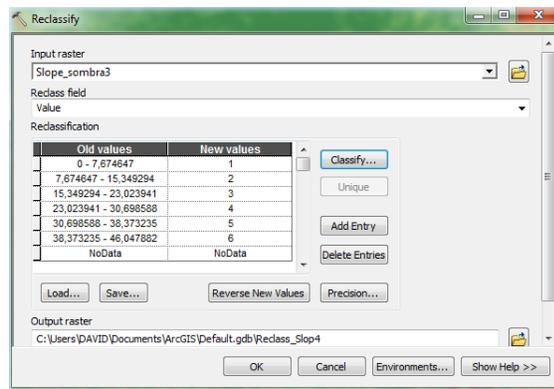


Figura No 50: Reclasificación

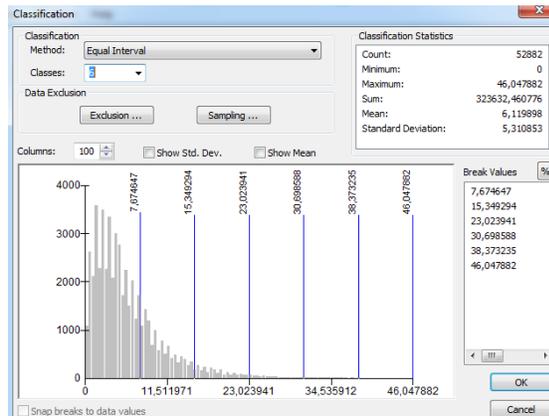


Figura No 51: Clasificación y No de Clases



Figura No 52: Imagen Producto del proceso de Reclasificación

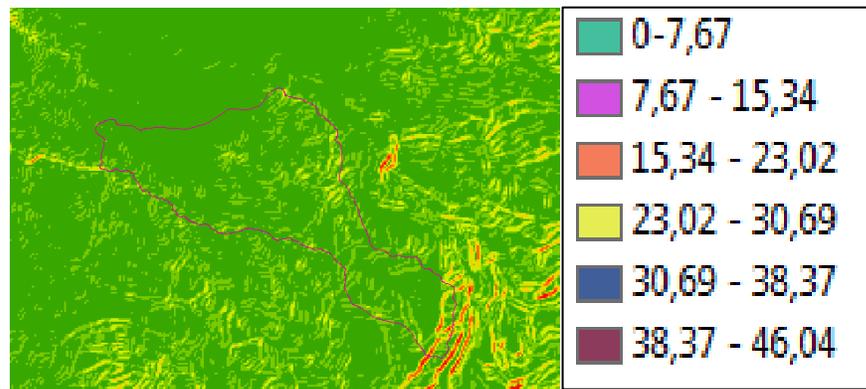


Figura No 53: Imagen Reclasificada con Valores Establecidos

6.10.1 Recorte Área de Estudio

Se recorta la imagen producto de la reclasificación por medio de la herramientas de extracción, extracción por máscara de Análisis Espacial del software Arcgis. Este recorte se realiza con respecto a la capa de formato vector (límite de la cuenca). Con la imagen resultante se elabora el mapa de pendientes.

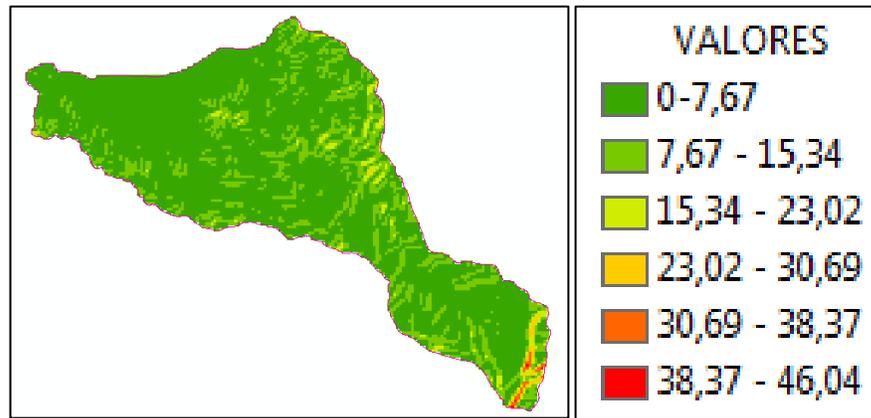


Figura No 54: Mapa de Pendientes Área de Estudio

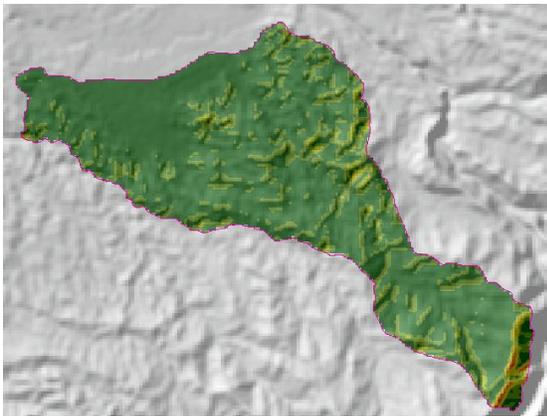


Figura No 55: Mapa de Pendientes Área de Estudio con MDE

7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como resultado final se obtienen tres mapas de cobertura vegetal para los años 1989, 2001, y 2014. Por medio de estos mapas se puede evidenciar los cambios que ha sufrido el ecosistema de la subcuenca del río Molino en cuanto al tipo de coberturas vegetales y los respectivos usos del suelo. Se evidencia que en la zona de estudio las actividades económicas principales son la actividad forestal a gran escala, también la ganadería y la agricultura a pequeña escala. Aunque se evidencian áreas extensas de potreros la explotación ganadera no es la más representativa.

Se observan variaciones considerables en la cobertura vegetal entre un año y otro, en las siguientes tablas se explica los datos encontrados para cada uno de los periodos de tiempo y se establecen los usos del suelo de acuerdo a lo encontrado en las visitas a campo.

COBERTURA	USO	AREA_mt2	AREA_HECT	AÑO
BOSQUE NATURAL FRAGMENTADO	FORESTAL	25.924.741	2592,47	1989
TEJIDO URBANO	VIVIENDA	11.332.911	1133,29	1989
PASTOS LIMPIOS	GANADERIA	31.432.312	3143,23	1989
TIERRAS DESNUDAS	DEFORESTACION	397.039	39,70	1989

Tabla No 3: Cobertura y Uso del Suelo Año 1989

COBERTURA	USO	AREA_mt2	AREA_HECT	AÑO
AGUA		30.174	3,02	2001
BOSQUE NATURAL FRAGMENTADO	FORESTAL	26.067.330	2606,73	2001
PASTOS LIMPIOS	GANADERIA	31.470.321	3147,03	2001
TEJIDO URBANO	VIVIENDA	11.158.943	1115,89	2001
TIERRAS DESNUDAS	DEFORESTACION	360.235	36,02	2001

Tabla No 4: Cobertura y Uso del Suelo Año 2001

COBERTURA	USO	AREA_mt2	AREA_HECT	AÑO
BOSQUE PLANTADO	FORESTAL	28.370.122	2837,01	2014
PASTOS LIMPIOS	GANADERIA	9.247.597	924,76	2014
TEJIDO URBANO	VIVIENDA	15.943.030	1594,30	2014
TIERRAS DESNUDAS	DEFORESTACION	15.528.339	1552,83	2014

Tabla No 5: Cobertura y Uso del Suelo Año 2014.

COBERTURA	USO DEL SUELO	AREA_AÑO 1989 HECTAREAS	AREA AÑO 2001 HECTAREAS	AREA AÑO 2014 HECTAREAS	DIFERENCIA 1989 -2001	DIFERENCIA 2001 -2014
BOSQUE NATURAL FRAGMENTADO O BOSQUE PLANTADO (2014)	FORESTAL	2592,47	2606,73	2837,01	14,26	230,28
PASTOS LIMPIOS	GANADERIA	3143,23	3147,03	924,76	3,80	-2222,27
TEJIDO URBANO	VIVIENDA	1133,29	1115,89	1594,30	-17,40	478,41
TIERRAS DESNUDAS	DEFORESTACION	39,70	36,02	1552,83	-3,68	1516,81

Tabla No 6: Diferencias anuales en los cambios de coberturas y usos del suelo.

Se observa que en los tres periodos de tiempo las coberturas y usos del suelo encontrados son similares, algunas en mayores proporciones que otras, sin embargo se observa un aumento en algunos tipos de cobertura como: bosque natural fragmentado, bosque plantado, tierras desnudas, y tejido urbano, por ejemplo se observa que en los periodos comprendidos entre 1989 y 2001 el tipo de cobertura que más aumento fue bosque natural fragmentado, seguido de pastos limpios, esto como consecuencia del aumento de población y la introducción de actividades comerciales como la ganadería y la actividad forestal con especies introducidas (Pino, Eucalipto), sin embargo se aprecia que las especies nativas se conservaban en una escala de medida equilibrada con respecto a las nuevas especies introducidas. Se observa que para el periodo comprendido entre el año 2001 a 2014, la actividad forestal aumento considerablemente casi que cubriendo toda el área de la cuenca del rio molino utilizando especies forestales introducidas cambiando la cobertura de bosque natural fragmentado a bosque plantado. La ganadería se sigue realizando a escalas menores, teniendo en cuenta que la actividad comercial más representativa es la forestal. Si bien las áreas de pastos en los dos primeros periodos establecidos para este estudio eran altas, la ganadería en su mayoría se realizaba de forma artesanal ocupando grandes extensiones de tierra para pocos animales.

Cabe resaltar que la zona de estudio se encuentra dentro de una zona de alta sismicidad, y ocurrencia constante de fenómenos naturales como erosión y remoción en masa lo que genera constantes deslizamientos, muchos de estos al ocurrir cerca de los afluentes hídricos que hacen parte de la subcuenca del rio molino, han causado avalanchas las cuales han afectado la parte rural y urbana

del municipio de Popayán, causando pérdidas humanas, materiales y económicas considerables. La subcuenca del río Molino es además la que surte en gran proporción de agua potable al municipio de Popayán.

Partiendo de lo anterior se evidencia la incapacidad de las entidades gubernamentales para acompañar los procesos de planificación, desarrollo y toma de decisiones sobre el manejo de la subcuenca.

8 CONCLUSIONES

Como conclusión se establece la importancia de los sistemas de información geográfica y la utilización de imágenes obtenidas desde sensores remotos, los cuales facilitan el análisis, la planificación y la ejecución de procesos de tipo investigativo, que aportan al desarrollo de las actividades del ser humano. De esta forma se establecen las siguientes conclusiones:

- El proceso de clasificación de cobertura vegetal para los tres periodos de tiempo establecidos (1989, 2001, 2014), y posteriormente el análisis multitemporal realizado para la zona de estudio permite identificar el cambio continuo en los usos del suelo y los cambios en la cobertura vegetal, como se ilustra en la siguiente tabla.

COBERTURA	USO DEL SUELO	AREA_ AÑO 1989 HECTAREAS	AREA AÑO 2001 HECTAREAS	AREA AÑO 2014 HECTAREAS	DIFERENCIA 1989 -2001	DIFERENCIA 2001 -2014
BOSQUE NATURAL FRAGMENTADO O BOSQUE PLANTADO (2014)	FORESTAL	2592,47	2606,73	2837,01	14,26	230,28
PASTOS LIMPIOS	GANADERIA	3143,23	3147,03	924,76	3,80	-2222,27
TEJIDO URBANO	VIVIENDA	1133,29	1115,89	1594,30	-17,40	478,41
TIERRAS DESNUDAS	DEFORESTACION	39,70	36,02	1552,83	-3,68	1516,81

- Según la información de la tabla anterior, el mayor aumento de cobertura y uso del suelo se representa en el crecimiento de la población (Tejido urbano, vivienda), respecto a la cobertura vegetal se evidencia un alto porcentaje en el aumento de cobertura de bosques (bosque natural fragmentado, bosque plantado) encaminados al uso forestal, se identifica que para el periodo comprendido entre los años 1989 a 2001, el aumento fue de 14,26 hectáreas, y para los años 2001 a 2014 el aumento ha sido de 230,28 hectáreas, lo que significa un aumento de 244,54 hectáreas en los 25 años que se establecieron para el análisis multitemporal, lo que representa un cambio considerable sobre el ecosistema de la subcuenca del río Molino.
- Con respecto al uso del suelo destinado a la ganadería se observa que hubo un aumento en el cambio de cobertura (pastos limpios), periodo comprendido entre 1989 a 2001 (12 años). El aumento en la cobertura de pastos destinados a la ganadería fue de 3,80 hectáreas, para el 2001 a 2014 (13 años) se observa una gran disminución de la cobertura de pastos limpios en 2.222, 28 hectáreas. Lo que significa que en los 25 años establecidos para el análisis (1989-2014) la diferencia es de 2.218, 48 hectáreas, demostrando el cambio en las actividades comerciales de la población por actividades de tipo forestal, con fines comerciales.
- Para el tipo de cobertura referente a tierras desnudas, se ha establecido un uso del suelo clasificado como áreas deforestadas o en proceso de descanso

para nuevos cultivos forestales. Se observa notablemente que dichas zonas han estado dedicadas a la explotación maderera de especies comerciales que han sido introducidas (pino, eucalipto). Se idéntica una diferencia de - 3,68 hectáreas para los periodos comprendidos entre 1989 a 2001 (12 años), lo que significa que para el año 2001, no se evidencia explotación o corte de madera, para esta época además se observa según las imágenes de satélite, que eran más las áreas dedicadas a la ganadería que las áreas para explotación forestal, y se evidencia la presencia de cobertura vegetal correspondiente a bosque natural fragmentando. Para los años 2001 a 2014 se identifica un aumento alto en las áreas de tierras desnudas, de 1516,81 hectáreas lo que significa que para esta época se inicia con la explotación de madera con fines comerciales de especies nativas e introducidas. La diferencia para el periodo de 25 años (1989- 2001) es de 1477,11 hectáreas, lo que significa un promedio de 59,08 hectáreas por año.

- Las entidades ambientales y administrativas del municipio de Popayán deben ejercer mayor control sobre la utilización de los recursos naturales, específicamente sobre los ecosistemas que hacen parte de cuencas hidrográficas, realizando procesos de seguimiento y monitoreo a las actividades que allí se desarrollan. Además deben adquirir mayor compromiso con la utilización de los recursos naturales, e invertir en procesos de reforestación con especies nativas, y producciones limpias.
- Se debe concientizar a las comunidades que se encuentran en las áreas de influencia de las cuencas hidrográficas, con respecto a la utilización o explotación de los recursos naturales.
- El modelamiento digital utilizando la imagen de radar, y el modelo de sombras como insumo nos permite obtener 23 divisorias de cuencas las cuales hacen referencia a afluentes hídricos (quebradas, arroyos, ríos) que se encuentran dentro la subcuenca del río Molino y desembocan en la misma.
- Con la utilización del modelo de sombras se obtuvieron 8 afluentes hídricos, los cuales hacen parte de la red de drenajes del río Molino. No se obtienen más teniendo en cuenta los niveles de elevación del modelo digital 30 metros), de contar con un modelo con mayor resolución, se puede obtener una red de drenaje más detallada, sin embargo si se tuviera información acerca de los niveles o tamaño de pixel, y utilizando la capa de salida del flujo de acumulación, se puede obtener por medio de herramientas de álgebra de mapas estableciendo datos para la red primaria y para la red secundaria.
- Con el modelo digital de elevación se obtiene el mapa de pendientes, para el cual se establecen 9 clases, este mapa de pendientes nos permite obtener los

grados de inclinación del terreno, permitiendo identificar las consecuencias que puede representar el cambio en las coberturas vegetales. Los rangos obtenidos son:

9 RECOMENDACIONES

Las actividades o usos del suelo que se desarrollen sobre los ecosistemas de cuencas hidrográficas, deben tener un acompañamiento y monitoreo de las entidades ambientales garantizando el desarrollo sostenible de los mismos pensando en las futuras generaciones. Partiendo de lo anterior se realizan algunas propuestas:

- Ejecutar diagnósticos acerca del estado y las características del ecosistema.
- Desarrollar procesos de planificación y ordenación para la cuenca hidrográfica con el objetivo de medir la capacidad hídrica de la misma y de esta forma determinar las actividades o usos que se puedan generar sobre el ecosistema. También desarrollar este tipo de procesos para determinar la capacidad ambiental respecto al tipo de explotaciones que allí se desarrollen.
- Realizar talleres de educación ambiental, de producciones limpias enfocadas a la agricultura, ganadería, explotación forestal.
- Vincular a las instituciones educativas y la comunidad en procesos de recuperación de la cuenca, generando jornadas de aseo, de reforestación.
- Tecnificar los procesos productivos, con el objetivo de utilizar los insumos o materia prima y con sus desechos producir nuevos elementos, o utilizarlos en el desarrollo de otras actividades, y de esta forma mitigar el impacto sobre el ecosistema.
- Generar planes de manejo ambiental para la cuenca hidrográfica en su parte rural y urbana.
- Implementar metodologías a nivel local y regional, para la generación de infraestructura de bases de datos espaciales, la cual garantice el almacenamiento de la información espacial y alfanumérica generada en diferentes proyectos. Lo anterior con el objetivo de disminuir costos y tiempo en la producción cartográfica, además agilizar los procesos de planificación y toma de decisiones. De esta forma garantizar que la información pueda ser utilizada en otro tipo de proyectos como planificación, prevención y atención de desastres, identificar zonas en riesgo por fenómenos naturales o antrópicos, etc.

- Implementar metodologías o estándares internacionales para el desarrollo de información cartográfica con el objetivo que esta pueda ser utilizada en otro tipo de proyectos. Además generar metadatos que permitan verificar el objetivo de elaboración y para que fue utilizada la información.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Corporación Autónoma Regional del Cauca - Fundación Pro cuenca río las Piedras. Plan de Ordenación y Manejo Subcuenca Río Molino – Pubús, 2006.
- Elena Posada. Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica CIAF. Manual de Prácticas de Percepción Remota Parte 1.
- INEGI. Dirección General de Geografía y Medio Ambiente. Aspectos Técnicos De Las Imágenes Landsat.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Grupo Interno de Trabajo en Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas. Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 (LDCM).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bravo (2004). Interpretación visual de Imágenes de Sensores Remotos y su Aplicación en Levantamientos de Cobertura y uso de la Tierra.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Grupo Interno de Trabajo en Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas. Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM.
- Mauricio Labrador García, Juan Antonio Évora Brondo, Manuel Arbelo Pérez. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas. Gobierno de Canarias. Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio.
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Sistema de Información Ambiental de Colombia. SIAC.
- Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000 2008. con el apoyo financiero del Fondo Francés para el Medio Ambiente Mundial.
- Programa de Integración de Ecosistemas y Adaptación al Cambio Climático en el Macizo Colombiano. Evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático en la parte Media y Alta de la Subcuenca Rio Molino municipio de Popayán. Agosto de 2011.

- Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Implementación de la Metodología Corine Land Cover con Imágenes Ikonos.
- Satélite Landsat. Análisis Visual de Imágenes Obtenidas del Sensor ETM. [www. Landsat.com](http://www.Landsat.com).
- Universidad de La Laguna IROA, S.A. Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera (GOTA).