

**ESTUDIO DE CAMBIOS DE COBERTURAS Y USOS DEL SUELO EN LA
CUENCA DEL RIO HACHA, FLORENCIA-CAQUETÁ**

**IVAN CAMILO TORRES PERAFAN
MARIA ANDREA CASTRO RAMON**



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

**ESTUDIO DE CAMBIOS DE COBERTURAS Y USOS DEL SUELO EN LA
CUENCA DEL RIO HACHA, FLORENCIA-CAQUETÁ**

**IVAN CAMILO TORRES PERAFAN
MARIA ANDREA CASTRO RAMON**

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
2016**

CONTENIDO

1. ÁREA PROBLEMÁTICA.....	13
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GENERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. MARCO TEÓRICO.....	17
4.1 Antecedentes	17
4.2 Sistema de información geográfica.....	19
4.2.1 Contexto Histórico	19
4.3 Teledetección	20
4.4 Misiones Landsat	20
4.4.1 Landsat 5 TM	21
4.4.2 Landsat 7 (ETM +).....	23
4.4.3 Landsat 8 (OLI).....	25
4.4.4 Modelo Digital de elevación	27
4.5 Metodología Corine Land Cover	27
5. METODOLOGÍA	29
5.1 Tipo de trabajo	29
5.2 Zona de estudio	29
5.2.1 Extensión.....	30
5.2.2 Límites	31
5.3 Procedimiento	31
5.4 Recolección y análisis de datos bibliográficos.....	32

5.5 Descargue y Selección de imágenes satelitales Landsat y DEM	32
5.6 procesamiento de imágenes y DEM.....	32
5.7 Clasificación Supervisada	33
6. RESULTADOS.....	34
6.1 Descripción de resultados	34
6.1.1 Descargue y Selección de imágenes satelitales Landsat y DEM	34
6.1.2 Composición de imágenes satelitales.....	34
6.1.3 Modelamiento de la cuenca del río Hacha	36
6.1.4 recorte imágenes Landsat.....	40
6.1.5 Clasificación Supervisada	41
6.7.6 Editor de firmas (Signature editor)	42
6.7.7 Recodificación (Recode).....	44
6.7.8 Filtro de barrido (Neighborhood):.....	45
6.7.9 Filtro Grupo (Clump)	45
6.7.10 Filtro eliminar (Eliminate):	46
6.7.11 Raster to Shapefile:	47
6.2 Discusión de resultados.....	49
7. CONCLUSIONES	56
8. RECOMENDACIONES.....	58
BIBLIOGRAFÍA	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación espacial cuenca del rio Hacha.	31
Figura 2 Herramienta Layer Stack.	35
Figura 3 Compuesta año 1991.....	35
Figura 4 Compuesta año 2000.....	35
Figura 5 Compuesta año 2014.....	36
Figura 6 Recorte cuenca según POMCA 2015.	37
Figura 7 Resultado herramienta Flow Direction.	38
Figura 8 Resultado Flow Accumulation.	39
Figura 9 Resultado filtro Basin.	40
Figura 10 Área estudio, cuenca del rio Hacha.	40
Figura 11 Recorte imagen año 2000.	41
Figura 12 Firmas Espectrales.	43
Figura 13 Clasificada.	43
Figura 14 Procedimiento de recodificación.	44
Figura 15 Recode.	44
Figura 16 Filtro Neighborhood.	45
Figura 17 Filtro clump.	46

Figura 18 Filtro Eliminate.....	46
Figura 19 Imagen poligonizada.....	47
Figura 20 Imagen de superficie de coberturas.	48
Figura 21 Imágenes clasificadas a escala 1:100.000.....	48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de coberturas según Leyenda Nacional de Coberturas.	41
Tabla 2 Diferencia de cobertura y uso del suelo Año 1991-2000.....	49
Tabla 3 Coberturas y uso de suelo comparativo de los años 1991-2000-2014.....	51

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1 Diferencia de cobertura año 1991 y año 2000.	50
Gráfica 2 Diferencia de cobertura año 2000 y año 2014.	52
Gráfica 3 Coberturas y uso de suelo comparativo de los años 1991-2000-2014.	54

RESUMEN

El río Hacha es la principal fuente hídrica del municipio de Florencia Caquetá, su cuenca viene presentando cambios significativos con relación a los tipos de coberturas y usos de suelo, producto de diferentes procesos de ocupación, expansión urbana y la aplicación de nuevas tecnologías agrícolas, teniendo como resultado impactos de tipo negativo que afectan principalmente los ecosistemas presentes en la zona. Teniendo en cuenta esta afectación, se decide realizar un análisis multitemporal de dicha cuenca en un periodo de 23 años, aplicando metodologías de procesamiento, clasificación y análisis soportadas en el uso de software SIG. Para desarrollar dicho análisis multitemporal se contó con imágenes; Landsat 5 TM del año 1991, Landsat 7 TM+ del año 2000, Landsat 8 OLI del año 2014 y el Modelo Digital de Terreno de 30m, el cual se procesó utilizando software ArcGis 10.2.1 para moldear dicha cuenca y definir el área de estudio, las imágenes se procesaron inicialmente en el software Erdas Imagine 2014, para la clasificación de las coberturas y posteriormente en el software ArcGis 10.2.1 para cuantificar el área por cobertura presente en cada imagen.

ABSTRACT

The Hacha River is the main water source of the city of Florencia Caquetá, its basin has showed significant changes in relation to the kind of coverage and land use: product of different processes of occupation, urban expansion and application of new agricultural technologies. The set of all these process have had as result negative impacts, mainly in the ecosystems over whole basin area. In relation to this involvement, this paper takes a multi-temporal analysis of the basin over a period of 23 years, applying processing methodologies, classification and supported in the use of GIS analysis software. To develop such a multitemporal analysis was featured images; Landsat 5 TM 1991, Landsat 7 TM + 2000, Landsat 8 OLI 2014 and the Digital Terrain Model 30m, which was processed using software 10.2.1 ArcGis to mold the basin and define the study area. The images are initially processed in 2014 Erdas Imagine software for classification of hedges and later in the ArcGis 10.2.1 software to quantify the present coverage area for each image.

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG); son herramientas determinantes en la planificación ambiental y ordenamiento territorial, gracias a ellos se logran resolver problemas de asignación "óptima" de actividades en el territorio, (Bosque y García 2000, p. 1). Igualmente, el uso de la teledetección es efectivo al momento de estudiar los cambios de usos del suelo a través del tiempo.

Por lo tanto, con la implementación de estas herramientas se logra desarrollar el estudio del cambio de cobertura y uso del suelo a través de un análisis multiemporal en la cuenca del río Hacha, la cual constituye el principal ecosistema estratégico para la ciudad de Florencia porque de ella depende en su totalidad el abastecimiento de agua para el consumo humano y para todas las actividades productivas que requieren de este recurso, de la misma manera brinda numerosos espacios y escenarios de recreación, ecoturismo y esparcimiento. Provee al mercado local de variados productos agropecuarios y materias primas y controla el ciclo hidrológico a través de los bosques de niebla. (POMCA, 2005, p. 15).

Todos estos bienes y servicios ambientales están siendo amenazados por la intervención humana no planificada al igual que la falta de insumos de investigación de tipo cartográfico y geográfico relacionada con los ecosistemas que sustentan y autorregulan los procesos ecológicos de esta área que ocupa aproximadamente el 21% del municipio de Florencia, así mismo, son importantes al momento de tomar decisiones acertadas y la formulación de planes de ordenamiento y proyectos de conservación (POMCA, 2005, p. 15).

El objetivo de este estudio es generar información que sirva como insumo para desarrollar proyectos de impacto social y ambiental, que permitan encontrar alternativas a la problemática que se está generando por los cambios de coberturas, igualmente el crecimiento acelerado e

incontrolado de la ciudad de Florencia, la demanda de agua para el consumo humano y otras actividades.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

“Las actividades humanas y la creciente demanda por bienes como alimento, vivienda, agua potable y servicios ambientales generan constantemente, y en amplias escalas geográficas, una presión sobre los recursos naturales con grandes impactos, la mayoría de ellos negativos” (Cuevas , Garrido, Pérez, & Gonzales, s.f., p. 96) dicha presión es el resultado de malos procesos de planificación, ausencia de autoridad de tipo ambiental, administrativa, ordenamiento, falta de investigación que generen insumos de tipo cartográfico y estudios detallados en formato digital que permita visualizar, identificar y cuantificar las modificaciones que se han presentado en el uso del suelo y cambios de coberturas, en este caso en la cuenca del río Hacha del municipio de Florencia Caquetá, la cual se está deteriorando con el paso del tiempo afectando directamente los diferentes ecosistemas presentes en la zona, como la flora, fauna y pobladores de la zona rural y urbana del municipio.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar estudio de cambios de coberturas y usos del suelo en la cuenca del río Hacha, Florencia Caquetá

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelamiento de la cuenca del río Hacha a través de la herramienta Hydrology del software ArcGis 10.2.1.
- Clasificar las coberturas presentes dentro del área estudio utilizando la metodología Corine-lancover para Colombia a escala 1:100.000, aplicando software SIG.
- Cuantificar el cambio de las coberturas en los años de estudio.
- Identificar las zonas de mayor cambio de coberturas y uso de suelos.
- Obtener mapas de coberturas de cada una de las imágenes estudiadas.

3. JUSTIFICACIÓN

Actualmente se cuenta con avances tecnológicos que facilitan la adquisición de información necesaria para cada escenario de trabajo. Por lo anterior los sistemas de información geográfica son una herramienta importante para el desarrollo de los procesos de planificación, debido a que se logra obtener información de tipo geográfica y cartográfica fundamental para la toma de decisiones.

De la misma manera, la generación de un análisis multitemporal permite detectar cambios entre diferentes fechas de referencia, “deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana” (Ruiz, Savé & Herrera, 2013, p. 117), teniendo como propósito evaluar el cambio de uso del suelo en el paisaje terrestre de la cuenca del río Hacha, en el período de tiempo 1991-2014 (23 años), a través de imágenes satelitales Landsat TM , TM+ y OLI.

Además, conociendo que el proceso de invasión de márgenes hídricas, en el río Hacha, ubicado en el municipio de Florencia, está relacionado a la problemática social que se ha presentado en los últimos años a nivel nacional principalmente casos de desplazamiento forzado de pobladores rurales hacia las capitales, situación común en la zona de estudio, por esta razón es frecuente encontrar asentamientos urbanos ilegales en zonas destinadas para otras actividades, generando en la mayoría de casos daños irreversibles a los recursos naturales presentes en la zona. Dicha problemática se presenta por la insuficiente planificación o en algunos casos ausencia de autoridad por parte de la administración municipal, igualmente este crecimiento desordenado suele darse debido a los intereses de tipo político o privado que existen en los procesos de planificación afectando a la población.

De la misma manera, teniendo en cuenta que actualmente se cuenta con una mínima información cartográfica de los cambios del uso del suelo, de cobertura y la insuficiente implementación de la

planificación en donde “actualmente, los severos impactos ambientales producidos por procesos de ocupación y deforestación masiva de vastas áreas localizadas en paisajes de montaña vienen ocasionando la desestabilización de los suelos y de los sistemas ecológicos que han perdido en gran parte su capacidad de autorregulación, lo que genera efectos y consecuencias graves que ponen en peligro a la población, sus actividades y la infraestructura instalada de la cuenca, principalmente de la ciudad de Florencia” (POMCA, 2015, p. 15).

Por lo anterior es necesario efectuar un estudio a través del tiempo, que identifique las zonas de mayor cambio de uso de suelo y coberturas del rio Hacha, generando un insumo que facilite la toma de decisiones para la formulación de nuevos proyectos y el mejoramiento de la planificación.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Antecedentes

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios, Ambientales (IDEAM), Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Fundación Gordon y Betty Moore, Fundación Natura en el año 2010, realizaron el proyecto Capacidad Institucional Técnica y Científica para apoyar proyectos de Reducción de Emisiones por Deforestación REDD, en donde efectuaron la Cuantificación de la tasa de deforestación para Colombia. Periodos 1900-2000, 2000-2005. Obteniendo como resultado para periodo 1990 la cobertura boscosa detectadas asciende a 64'361.078 hectáreas, representando el 56.5% del territorio nacional. Este tipo de cobertura se ubica principalmente en las regiones Amazonía y Andes. Adicionalmente, es importante mencionar que para este periodo de análisis se reporta un 2.1% del territorio continental colombiano con persistencia de áreas de nubosidad, generando cerca de 2'400.000 hectáreas en áreas sin información de coberturas.

Respecto del periodo 2000 se detectó una extensión de cobertura boscosa total para el país de 60'548.286 hectáreas, representando el 53.2% del territorio nacional. Este tipo de cobertura se ubica principalmente en las regiones Amazonía y Andes. Adicionalmente, es importante mencionar que para este periodo de análisis se reporta un 4% del territorio continental colombiano con persistencia de áreas de nubosidad, generando un poco menos de 4'600.000 hectáreas en áreas sin información de coberturas, debido sobre todo a presencia de nubes.

Con relación el periodo 2005 se contabilizó una superficie de cobertura boscosa total para el país de 56'941.179 hectáreas, representando el 50% del territorio nacional. Este tipo de cobertura se ubica principalmente en la región amazónica. Adicionalmente, es importante mencionar que para este periodo de análisis se reporta un 6.8% del territorio continental colombiano sin información

debido a la persistencia de áreas de nubosidad, pero también a problemas del sensor (bandeamiento de imágenes Landsat) generando cerca de 7'800.000 hectáreas en áreas sin información de coberturas. (Cabrera M. E. et al. 2011).

Igualmente se efectuó estudio multitemporal entre los años 2002 a 2007, formalizado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI, sobre la Tasa de Deforestación para cada unidad geográfica en la Amazonía Colombiana, en donde uno de los municipios estudiados fue Florencia – Caquetá, consiguiendo obtener 9751,47 ha de pérdida de bosques. (Murcia, G.U.G, *et al.* 2010).

Por otra parte, se elaboró un estudio de cambios de los arbustales por municipio, en donde solamente cincuenta de los setenta y ocho municipios o corregimientos departamentales de la Amazonia tienen áreas en esta clase de cobertura, se destacan por proporción de estas áreas con respecto al área total de la Amazonia, los municipios de: Mitú (Vaupés), Solano (Caquetá), Pacoa (Vaupés) y Taraira (Vaupés). El análisis de disminución de arbustales por municipio, entre 2002 y 2007, permite identificar aquellos con mayores pérdidas, así: San José del Guaviare (Guaviare) con 802,3 ha; Florencia (Caquetá) con 663,6 ha; Milán (Caquetá) con 501,8 ha; La Macarena (Meta) con 480,3 ha; y Santa Rosa (Cauca) con 317,9. Los municipios que ganaron arbustales durante el tiempo de estudio, fueron: Calamar (Guaviare) con 783,1 ha; La Pedrera (Amazonas) con 346,9 ha; Solano (Caquetá) con 282,5 ha; Taraira (Vaupés) 198,0 ha; y Leguízamo (Putumayo) con 125,3. Es fundamental resaltar que los municipios de Milán, La Macarena y Santa Rosa presentaron valores altos de ganancia de esta cobertura con 422,6 ha, 202,4 ha y 131,1 ha. (Murcia G.U.G. *et al.* 2011).

4.2 Sistema de información geográfica

Los sistemas de información geográfica (SIG) se han configurado como una de las principales herramientas de trabajo de los profesionales de la ciencia geográfica. Su aparición en el mercado informático y geográfico ha permitido a los geógrafos pasar de la visión del mapa (sobre una mesa) a la visualización del mapa (en la pantalla de un ordenador). La utilidad de estos sistemas supera la mera elaboración cartográfica y adentra al investigador en un mundo de análisis y reflexión compleja, la que se deriva de la interpretación cartográfica. La relevancia territorial de los sistemas de información geográfica es muy importante, pues las conclusiones que generan contribuyen a la toma de decisiones que afectarán al espacio físico y humano (Latanda & Nuñez, 2002, p 165).

4.2.1 Contexto Histórico

Las bases para la futura aparición de los SIG las encontramos algunos años antes de esa década de los sesenta, con el desarrollo de nuevos enfoques en cartografía que parecen predecir las necesidades futuras que un manejo computarizado.

La primera experiencia relevante en esta dirección se encontró en 1959, cuando Waldo Tobler define los principios de un sistema denominado MIMO (map in–map out) con la finalidad de aplicar los ordenadores al campo de la cartografía. En él, establece los principios básicos para la creación de datos geográficos, su codificación, análisis y representación dentro de un sistema informatizado. Estos son los elementos principales del software que integra un SIG, y que habrán de aparecer en todas las aplicaciones desarrolladas desde ese momento.

“El primer Sistema de Información Geográfica formalmente desarrollado aparece en Canadá, al auspicio del Departamento Federal de Energía y Recursos. Este sistema, denominado CGIS (Canadian Geographical Information Systems), fue desarrollado a principios de los 60 por Roger Tomlinson, quien dio forma a una herramienta que tenía por objeto el manejo de los datos del

inventario geográfico canadiense y su análisis para la gestión del territorio rural. El desarrollo de Tomlinson es pionero en este campo, y se considera oficialmente como el nacimiento del SIG. Es en este momento cuando se acuña el término, y Tomlinson es conocido popularmente desde entonces como «el padre del SIG». (Olaya. V. 2014, p 26).

4.3 Teledetección

“La teledetección es la ciencia que engloba al conjunto de los conocimientos y técnicas utilizados para la obtención de información de objetos o fenómenos a distancia, sin entrar en contacto directo con ellos. No sólo trata de los procesos de adquisición de información, sino también de su posterior análisis desde una perspectiva de aplicación en particular. Las imágenes obtenidas a partir de plataformas espaciales constituyen una fuente muy importante de información sobre los recursos naturales y del ambiente. En efecto, las imágenes satelitales proveen una visión sinóptica de grandes áreas de la superficie terrestre, lo que permite una mejor comprensión de la organización espacial; permiten acceder a información que nuestra visión no capta, tal como las bandas del infrarrojo y son menos costosas por unidad de superficie que las fotografías aéreas o la información tomada en el terreno” (Merenson, 2004, p. 2).

4.4 Misiones Landsat

“Landsat es una serie de misiones de observación de la Tierra por satélite gestionadas conjuntamente por la NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos.

En 1972, el lanzamiento de ERTS-1 (Tecnología de Recursos Terrestres satélite, posteriormente rebautizado Landsat 1) inició la era de una serie de satélites que ya han adquirido un terreno de forma continua basada en el espacio de datos de percepción remota, la misión de continuidad de datos de Landsat (LDCM), se puso en marcha el 11 de febrero de 2013. Ahora rebautizado Landsat

8, los datos obtenidos por el satélite continúan expandiéndose por el archivo de usuarios en todo el mundo (USGS, s.f.).

4.4.1 Landsat 5 TM

“La serie de naves espaciales Landsat evolucionó a partir de un programa experimental (LS-1 a LS-3) a un programa operativo (LS-4 y LS-5) desde entonces ha mejorado considerablemente las naves espaciales que fueron colocados en órbitas más bajas que la anterior de naves espaciales Landsat y llevadas a la mejora de suites de instrumentos.

Un nuevo diseño de naves espaciales (2ª generación) se introdujo con LS-4 basado en el MMS (Multimission Nave espacial modular) diseño de bus. Ambos satélites Landsat fueron construidos por GE Astro Espacio, Fairchild (ahora Lockheed Martin Misiles y del Espacio) de la NASA. La masa de la nave espacial LS-4 es 1407 kg (1.941 kg lanzan en masa); LS-5 = 1407 kg (masa de lanzamiento de 1.938 kg).

El segmento de vuelo consiste en dos sistemas principales:

- El módulo de instrumento, que contiene los instrumentos junto con los subsistemas únicos de misión, tales como los paneles solares y la unidad, la antena TDRS, el módulo de banda ancha, y el sistema de posicionamiento global (GPS)
- La nave espacial multimisión modular que contenía el poder modular y estandarizado, propulsión, control de actitud, y las comunicaciones y el manejo de los subsistemas de datos. El segmento de vuelo se diseñó con 3 años de vida útil nominal.

La estructura de la nave espacial se compone de paneles de aluminio con cilindros de grafito. Un sistema de propulsión de hidrazina se utiliza para el mantenimiento de la órbita.

La energía eléctrica de 1430 W (BOL) es proporcionado por una única matriz solar con un

mecanismo de articulación de 1 eje. Dos baterías de NiCd proporcionan 100 Ah total durante la fase de órbita eclíptica.

Un brazo se recoge (4 m de largo) con 2 articulaciones accionados apoya la HGA articulado (antena de alta ganancia), que a través de enlaces descendentes de datos TDRS (Seguimiento y Relevamiento de datos del sistema). El sistema de comunicaciones por radiofrecuencia utiliza S, X, L, y bandas Ku. El S / C es de 3 ejes estabilizado, momento cero con mando a 0.01° usando ruedas de reacción". (USGS, s.f.).

4.4.1.1 Órbita

- Referente Mundial System-2 (WRS-2) sistema de ruta / fila.
- Circular, sincronizada con el sol, cerca de la órbita polar a una altitud 705 km (438 millas).
- Inclínada a 98,2 °.
- Repita el ciclo: 16 días.
- anchura de barrido 185 km (115 millas).
- Ecuatorial tiempo de cruce: 9:45 am +/- 15 minutos.

4.4.1.2 Sensores

Multiespectrales escáner (MSS), cuatro bandas espectrales (idéntico al Landsat 1 y 2):

- Banda 4 verde visible (de 0,5 a 0,6 micras).
- Banda 5 roja visible (0,6 a 0,7 micras).
- Banda 6 de infrarrojo cercano (0,7 a 0,8 micras).
- Banda 7 de infrarrojo cercano (0,8 a 1,1 micras).
- Seis detectores para cada banda espectral siempre y seis líneas de exploración en cada exploración activa.

Planta Intervalo de muestreo (tamaño de píxel): 57 x 79 m.

4.4.1.3 Mapeador Temático (TM)

Se ha añadido la mitad del rango del infrarrojo a los datos, siete bandas espectrales, incluyendo una banda térmica:

- Banda 1 Visible (0,45-0,52 m) 30 m.
- Banda 2 Visible (0,52 a 0,60 m) 30 m.
- Banda 3 Visible (0,63-0,69 m) 30 m.
- Banda 4 de infrarrojo cercano (0.76 - 0.90 m) a 30 m.
- Banda 5 de infrarrojo cercano (1.55 - 1.75 m) a 30 m.
- Banda 6 térmica (10,40 a 12,50 m) 120 m.
- Banda 7 Infrarrojo Medio (2.08 - 2.35 m) a 30 m.
- Planta Intervalo de muestreo (tamaño de píxel): 30 m reflectante, 120 m térmica. (USGS, s.f.).

4.4.2 Landsat 7 (ETM +)

“Landsat 7 fue lanzado con éxito el 15 de abril de 1999, de Base Aérea Vandenberg, California, en un vehículo de lanzamiento Delta-II. El instrumento de observación de la Tierra el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +), replica las capacidades de los instrumentos de cartografía temática de gran éxito en Landsat 4 y 5.

La ETM + también incluye características adicionales que lo convierten en un instrumento más versátil y eficiente para los estudios mundiales sobre el cambio, el seguimiento y la evaluación de cobertura terrestre, y mapeo de área grandes.

Landsat 7 es el satélite de observación terrestre calibrado con mayor precisión, es decir, sus medidas son extremadamente precisos en comparación con las mismas medidas realizadas en el suelo. Sensor de Landsat 7 ha sido llamado "el instrumento de observación de la Tierra más estable,

mejor caracterizada jamás puesto en órbita." Rigurosos estándares de calibración de Landsat 7 se han convertido en la opción de validación para muchos sensores de baja resolución.

La excelente calidad de los datos, sistema de archivado mundial coherente, y el precio reducido (\$ 600) de Landsat 7 llevado a un gran aumento de usuarios de datos Landsat. En octubre de 2008, hizo todos los datos del USGS Landsat 7 gratis para el público (todos los datos de Landsat fueron hechos libres en enero de 2009 que lleva a un aumento de 60 veces de la descarga de datos).

Considerado una calibración de triunfo, la misión Landsat 7 fue perfectamente hasta mayo de 2003, cuando un fallo de componente de hardware dejó espacios en forma de cuña de los datos que faltan en cada lado de la Landsat 7 imágenes (USGS, s.f.).

4.4.2.1 Órbita

- Referente Mundial System-2 (WRS-2) sistema de ruta / fila.
- órbita sincronizada con el sol a una altitud 705 km (438 millas).
- 233 ciclo de órbita; cubre todo el mundo cada 16 días (excepto para las más altas latitudes polares).
- Inclinado 98,2 ° (ligeramente retrógrada).
- Círculos de la tierra cada 98,9 minutos.
- Ecuatorial tiempo de cruce: 10:00 +/- 15 minutos.

4.4.2.2 Sensores

Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +), Ocho bandas espectrales, incluyendo una sartén y banda térmica:

- Banda 1 Visible (0,45-0,52 m) 30 m.
- Banda 2 Visible (0,52 a 0,60 m) 30 m.
- Banda 3 Visible (0,63-0,69 m) 30 m.

- Banda 4 de infrarrojo cercano (0.77 - 0.90 m) a 30 m.
- Banda 5 de infrarrojo cercano (1.55 - 1.75 m) a 30 m.
- Banda 6 térmica (10.40 - 12.50 m) 60 m Low Gain / alta ganancia.
- Banda 7 Infrarrojo Medio (2.08 - 2.35 m) a 30 m.
- Banda 8 pancromática (PAN) (0,52 - 0.90 m) 15 m.
- Planta Intervalo de muestreo (tamaño de píxel): 30 m reflexivo, 60 m térmica.
- Se ha añadido la Banda 6 de baja y alta ganancia de 60 m bandas térmicas.
- A bordo de calibración está en Landsat 7: un calibrador de apertura total solar (FASC) y un parcial de apertura solar calibrador (PASC), además de las 2 lámparas de calibración”. (USGS, s.f.).

4.4.3 Landsat 8 (OLI)

“Landsat 8 puso en marcha el 11 de febrero de 2013, de la Base Aérea Vandenberg, California, en un cohete Atlas-401 V, con la carga útil extendida carenado (EPF) de United Launch Alliance, LLC. La carga útil del satélite Landsat 8 se compone de dos instrumentos de ciencia-operacional del Land Imager (OLI) y el sensor infrarrojo térmico (SITR). Estos dos sensores proporcionan una cobertura temporal de la masa terrestre mundial con una resolución espacial de 30 metros (visible, NIR, SWIR); 100 metros (térmica); y 15 metros (pancromática).

Landsat 8 fue desarrollado como una colaboración entre la NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). NASA dirigió el diseño, construcción, puesta en marcha fases de ajuste, y en órbita, tiempo durante el cual el satélite fue llamado Misión de Continuidad de Datos de Landsat (LDCM). El 30 de mayo de 2013, USGS se hizo cargo de las operaciones de rutina y el satélite Landsat se convirtió 8. USGS dirige las actividades posteriores al lanzamiento de

calibración, las operaciones de satélites, la generación de productos de datos y archivo de datos en la Observación de los recursos terrestres y centro de la Ciencia (EROS)” (USGS, s.f.).

4.4.3.1 Órbita

- Referente Mundial System-2 (WRS-2) sistema de ruta / fila.
- órbita sincronizada con el sol a una altitud 705 km (438 millas).
- 233 ciclo de órbita; cubre todo el mundo cada 16 días (excepto para las más altas latitudes polares).
- Inclinado 98,2 ° (ligeramente retrógrada).
- Círculos de la tierra cada 98,9 minutos.
- Ecuatorial tiempo de cruce: 10:00 +/- 15 minutos.

4.4.3.2 Sensores

Operativa de imágenes de la Tierra (OLI), nueve bandas espectrales, incluyendo una banda de Pan:

- Banda 1 Visible (0,43-0,45 m) 30 m.
- Banda 2 Visible (0,450 a 0,51 micras) 30 m.
- Banda 3 Visible (0,53-0,59 m) 30 m.
- Banda 4 Rojo (,64-0,67 micras) 30 m.
- Banda 5 de infrarrojo cercano (0,85 - 0,88 m) a 30 m.
- Banda 6 SWIR 1 (1,57-1,65 m) 30 m
- Banda 7 SWIR 2 (2.11 a 2.29 micras) 30 m.
- Banda 8 pancromática (PAN) (0,50 - 0,68 m) 15 m.
- Banda 9 Cero (1,36 - 1,38 m) a 30 m.

- Sensor infrarrojo térmico (SITR).

Dos bandas espectrales:

- Banda 10 TIRS 1 (10/06 a 11/19 micras) 100 m
- Banda de 11 SITR 2 (11,5 - 12.51 m) 100 m” (USGS, s.f.).

4.4.4 Modelo Digital de elevación

“Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados.

En los modelos digitales de elevación existen dos cualidades esenciales que son la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlos y para el caso de los que son generados con tecnología LIDAR se obtienen modelos de alta resolución y gran exactitud (valores submétricos)”. (INEGI, s.f.).

4.5 Metodología Corine Land Cover

“Dentro del programa CORINE (Coordination of information on the environment) promovido por la Comisión de la Comunidad Europea fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra “CORINE Land Cover” 1990 (CLC90), el cual definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra. 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 diferentes escalas.

El esquema metodológico Corine Land Cover contempla las siguientes etapas: adquisición y preparación de la información; análisis e interpretación de las coberturas; verificación de campo, control de calidad y generación de la capa temática escala 1:100.000” (Alarcón, et ál, 2008, p. 29)

5. METODOLOGÍA

5.1 Tipo de trabajo

La investigación implementada en este proyecto es de tipo aplicada, debido a la utilización de diferentes prácticas de procesamiento de imágenes satelitales, las cuales facilitan el mejoramiento de la calidad, permitiendo el óptimo desarrollo de los objetivos propuestos.

5.2 Zona de estudio

“La cuenca del río Hacha se encuentra localizada en el municipio de Florencia, departamento del Caquetá, desempeñando una función estratégica como abastecedora de agua para la ciudad de Florencia además de ofrecer otros importantes bienes y servicios ambientales.

Por estar ubicada geográficamente en el sector centro - noroccidental del municipio de Florencia, el 89% de su territorio se encuentra en la cordillera Oriental (partes media y alta de la cuenca) y el 11% restante pertenece a la altiplanicie amazónica (parte baja), distribuyéndose de esta manera, en dos importantes regiones naturales del país: la región Andina y la región Amazónica. Particularmente del denominado Cinturón andino-amazónica de suramérica, con alturas que van desde los 240 msnm hasta los 2.575 msnm.

Por esta razón, la cuenca hace parte de dos importantes áreas protegidas del nivel nacional, tales como la Reserva Forestal de la Amazonia y el Distrito de Conservación de Suelos y Aguas del Caquetá, además de contener una zona especial de protección declarada a nivel municipal como la Zona de Protección Ambiental del Sector Nororiental de la Ciudad de Florencia” (POMCA 2005, p. 40).

“La localización geoespacial de la cuenca es la siguiente:

Al norte : 0190N7567W

Al Oriente : 0156N7553W

Al Sur : 0155N7555W

Al Occidente: 0178N7576W” (POMCA 2005, p. 40).

5.2.1 Extensión

“La cuenca del río Hacha se extiende sobre un área de 41.223 hectáreas, que corresponden al 21,4% del municipio de Florencia. Su colector principal es el río Hacha, el cual nace en la Reserva Forestal a una altura aproximada de 2.400 msnm cerca del límite con el departamento del Huila, desde su nacimiento hasta su confluencia en el río Ortegúza tiene una longitud de 64,501 km y su curso lleva una dirección noroeste – sureste. En su recorrido por el municipio de Florencia recoge las aguas de importantes tributarios tales como el río Caraño y las quebradas La Magola, La Ruidosa, Tarqui, Sucre, Santa Elena, El Paraíso, Palmichal, La Perdiz, Las Doradas, Travesías, La Carbona, El Dedo y La Yuca.” (POMCA 2005, p. 40-41).

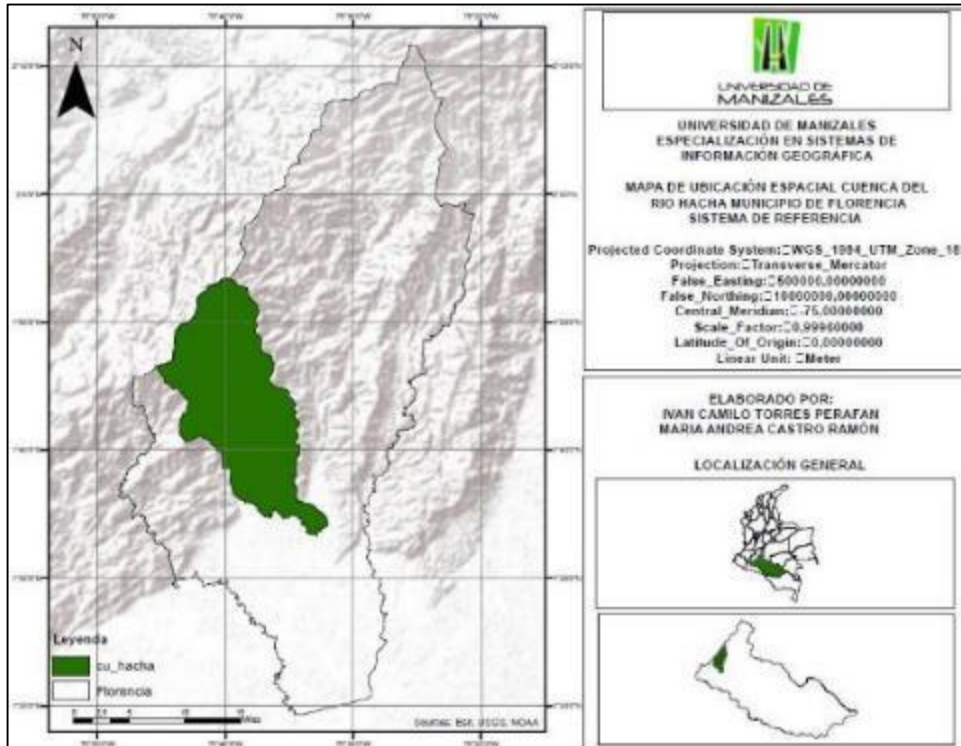


Figura 1 Ubicación espacial cuenca del río Hacha.

5.2.2 Límites

“La cuenca del río Hacha tiene los siguientes límites naturales:

- Al norte: Cresta de la cordillera Oriental, divisoria de aguas con la cuenca del río Suaza (departamento del Huila).
- Al Este: Divisoria de aguas con la cuenca del río Ortegua.
- Al Sur: Divisoria de aguas con la cuenca del río Bodoquero.
- Al Oeste: Divisoria de aguas con la cuenca del río Bodoquero” (POMCA 2005, p. 42)

5.3 Procedimiento

Teniendo como objetivo identificar los cambios de coberturas durante los últimos 23 años, en la cuenca del río Hacha, inicialmente se delimito la cuenca en mención a partir de un Modelo Digital de Elevación, una vez definida la zona estudio se realizó un análisis multitemporal entre los años; 1991, 2000 y 2014 representados en imágenes satelitales Landsat 5 TM, Landsat 7 TM+, Landsat

8 OLI. La selección de las imágenes se hizo de acuerdo a la calidad de estas respecto al porcentaje de nubes, debido a que el 89% de la cuenca está ubicada en la Cordillera Oriental (POMCA 2005, p. 126).

Para el proceso de clasificación supervisada se utilizaron los parámetros en cuanto a tipo de coberturas de la metodología Corine land Cover, se implementaron como herramientas de procesamiento los softwares Arcgis 10,2.1 y Erdas Imagine 2014

5.4 Recolección y análisis de datos bibliográficos

En el desarrollo de esta fase se recolecta y analiza información bibliográfica de los temas presentes en el desarrollo del proyecto, como primera medida información referente a los sistemas de información geográfica buscando conocer de manera concreta su papel dentro de los procesos de planificación, la teledetección y su aplicabilidad en proyectos investigativos, imágenes satelitales Landsat TM, TM+,OLI, con las cuales se decidió trabajar, metodología Corine land Cover adaptada para Colombia para clasificar las coberturas presentes en la zona estudio y percepción remota.

Igualmente se tomó información de proyectos de investigación y artículos desarrollados en el país y la zona estudio, teniendo en cuenta el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuencas (POMCA), con el fin de recolectar insumos necesarios para el desarrollo de las actividades del proyecto.

5.5 Descargue y Selección de imágenes satelitales Landsat y DEM

Las imágenes a trabajar se descargaron de la página de USGS Global Visualization Viewer, posteriormente para el proceso de selección se tuvo en cuenta el porcentaje de nubes, de igual manera, debido a la necesidad de determinar nuestra zona estudio o definir el área de la cuenta del río Hacha se descargó el modelo digital de elevación desde la página AsterGDEM.

5.6 procesamiento de imágenes y DEM

Las imágenes se procesarán según el manual de prácticas del docente Mario Andrés Giraldo Fadul, denominado *Descargue y Composición de Imágenes Satelitales*, aplicado en el módulo de sistemas de información geográfica, igualmente una vez obtenidas las imágenes compuestas a trabajar, en los casos de Lantsad 7 y 8 se procederán a mejorar la resolución aplicando la herramienta Sensor Merge del software Erdas imagine 2014, con la banda pancromática.

El procesamiento del Modelo Digital de Elevación (DEM), se realizará en el software ArcGis 10.2.1, inicialmente utilizando la herramienta proyección y transformación para definir la proyección de la imagen, luego con las herramientas de Hydrology; Fill, Flow Direction, Flow Accumulation y Basin, se procederá a moldear la cuenca hidrográfica necesaria para el recorte de las imágenes compuestas.

El recorte de las imágenes se realizará con la herramienta Subset & Chip, a partir del AOI layer que define la cuenca.

5.7 Clasificación Supervisada

La clasificación supervisada se realizará según el manual práctico del instructor Mario Andrés Giraldo, denominada *Clasificación de Imágenes Satelitales y Evaluación de Datos*, aplicado en el módulo de sistemas de información geográfica, en el cual se definen las firmas espectrales correspondientes a cada tipo de cobertura encontrada en la zona de trabajo, la definición de dichas coberturas será según la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.

Para mejorar la imagen clasificada se aplicará la herramienta de recodificación, el filtro neighborhood, clump y eliminate, del software Erdas Imagine 2014. Este procedimiento se aplicará a cada una de las imágenes para obtener salidas graficas que permitan identificar las diversas coberturas presentes en dichas imágenes, con las cuales se realizará el análisis multitemporal del cambio de cobertura y uso de suelos en los años de estudio.

6. RESULTADOS

6.1 Descripción de resultados

Se describir detalladamente la aplicación de la metodología anteriormente descrita, definir cada una de las herramientas y mostrar los resultados de cada proceso, los cuales se muestran a continuación.

6.1.1 Descargue y Selección de imágenes satelitales Landsat y DEM

Se descargaron en total 22 imágenes de diferentes años entre 1990 y 2016 de la pagina USGS Global Visualization Viewer, con el fin de seleccionar las imágenes a estudiar, teniendo en cuenta el porcentaje de nubes presentes en el área estudio, igualmente el año de las imágenes para seleccionar imágenes de periodos de tiempo considerable entre ellas, con el propósito de encontrar identificar las modificaciones en cuanto a coberturas que se han presentado en el área de estudio. Como resultado se seleccionaron las siguientes imágenes: LT50080591991034XXX02 del año 1991, LE70080592000051EDC00 del año 2000 y las imágenes LC80080592014177LGN00 del año 2014.

6.1.2 Composición de imágenes satelitales

La composición se realiza con el fin de unir las bandas que contiene cada imagen, este proceso se desarrolló con el software Erdas Imagine 2014, a través de la herramienta Spectral Layer Stack, se carga banda por banda de manera ordenada, se define la dirección y nombre de salida de la imagen y se procede a ejecutar el procedimiento.

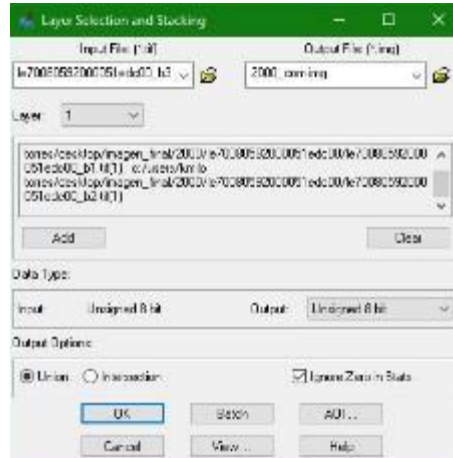


Figura 2 Herramienta Layer Stack.

Como resultado obtuvimos las imágenes 1991_com, 2000_com y 2014_com, las cuales se muestran a continuación.

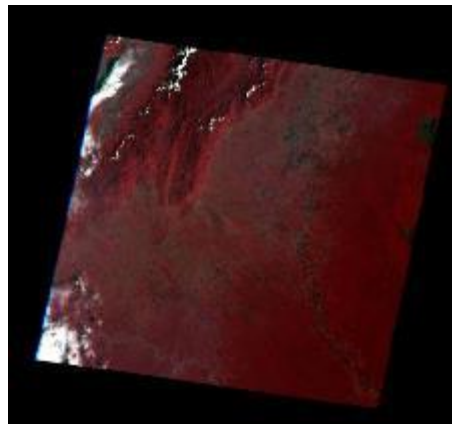


Figura 3 Compuesta año 1991.

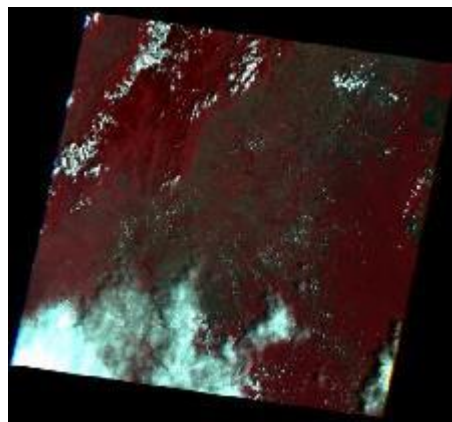


Figura 4 Compuesta año 2000.

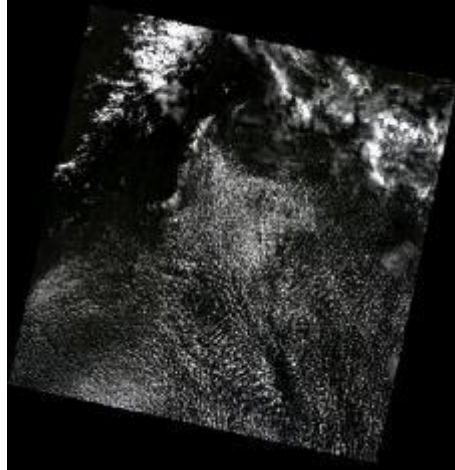


Figura 5 Compuesta año 2014.

Una vez compuestas las imágenes a trabajar se procede a moldear la cuenca el río Hacha con el fin de definir el área de trabajo.

6.1.3 Modelamiento de la cuenca del río Hacha

El modelamiento de la cuenca se logró a partir de un Modelo Digital de Elevación con un nivel de detalle de 30 metros, obtenido de la página AsterGDEM. El primer paso en el tratamiento de esta imagen fue definir su proyección, este procesamiento se desarrolló con el software ArcGis 10.2.1. Se carga dicho modelo y haciendo uso de la herramienta definir proyección se corrige la proyección del modelo.

6.1.3.1 Recorte área estudio

El recorte del área de trabajo de este estudio se realizó utilizando el modelo de la cuenca del POMCA del río Hacha 2005, partiendo de esta información se procedió a delimitar el área estudio con la herramienta Extracción por Mascara del software ArcGis 10.2.1.



Figura 6 Recorte cuenca según POMCA 2015.

Con el area de trabajo definida se procede a eliminar las imperfecciones que presenta el DEM.

6.1.3.2 Relleno (Fill)

Se realiza a travez de la aplicación de la herramienta de Analisis Espacial, Hidrologia, Relleno (Fill). Lo que se busca con esta herramineta es solucionar errores como sumideros, estos debido a la resolucion de los datos o el redondeo de elevaciones al valor entero mas cercano.(Esri, 2015)

“La herramienta Rellenar utiliza los equivalentes de varias herramientas, como Flujo focalizado, Dirección de flujo, Sumidero, Cuenca hidrográfica y Relleno zonal, para ubicar y rellenar sumideros. La herramienta itera hasta que se rellenan todos los sumideros dentro del límite z especificado”.(Esri, 2015)

con la imagen corregida se procedio a definir la direccion del drenaje.

6.1.3.3 Direccion de flujo (Flow Direction)

Con esta herramienta lo que se busca es determinar características hidrológicas de nuestra zona estudio como la direccion del flujo, se logra con la aplicación de la herramienta de Analisis Espacial, Hidrologia, Direccion de Flujo (Flow Direction). Para este proceso se toma la superficie

como entrada y proporciona como salida un ráster que muestra la dirección del flujo que sale de cada celda”(Esri, 2015).

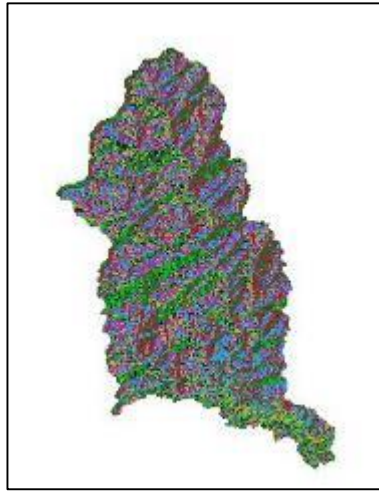


Figura 7 Resultado herramienta Flow Direction.

Determinada la dirección de flujo de cada celda se procede a identificar la acumulación de flujo.

6.1.3.4 Acumulación de flujo (Flow Accumulation)

Utilizando la herramienta de Análisis Espacial, Hidrología, Acumulación de Flujo (Flow Accumulation), con la cual se calcula el flujo acumulado lo cual corresponde al peso acumulado de todas las celdas de pendiente descendente en el ráster de salida. Si no se proporciona un ráster de peso, se aplica un peso de 1 a cada celda, y el valor de celdas en el ráster de salida es el número de celdas que fluye en cada celda.

Las celdas con una acumulación de flujo alta son áreas de flujo concentrado y pueden ser útiles para identificar canales de arroyos. Esto se analiza en identificación de redes de arroyos. Las celdas con una acumulación de flujo de 0 son alturas topográficas locales y se pueden utilizar para identificar crestas”(Esri, 2015).

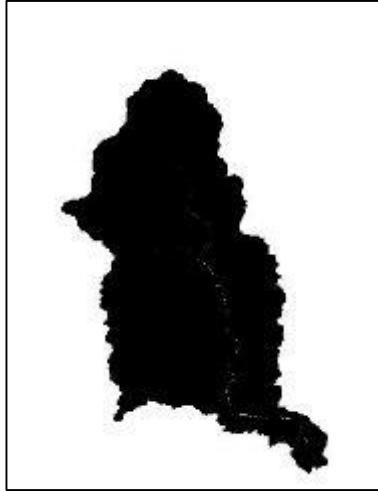


Figura 8 Resultado Flow Accumulation.

Definida la acumulación de flujo se procede a delimitar la cuenca.

6.1.3.5 Cuenca (Basin)

Con la aplicación de esta herramienta se delimitó la cuenca producto del procesamiento de las herramientas anteriores, “las cuencas hidrográficas son delineados dentro de la ventana de análisis mediante la identificación de líneas de borde entre cuencas, la dirección de la trama del flujo de entrada se analiza para encontrar todos los conjuntos de celdas conectadas que pertenecen a la misma cuenca de drenaje, las cuencas de drenaje son creados por la localización de los puntos de fluidez en los bordes de la ventana de análisis” (Esri, 2015).



Figura 9 Resultado filtro Basin.

Definidas las cuencas presentes en el área de estudio se selecciona la de interés y mediante la herramienta de Conversion y Transformacion, se pasa de Rastes a Polígono.

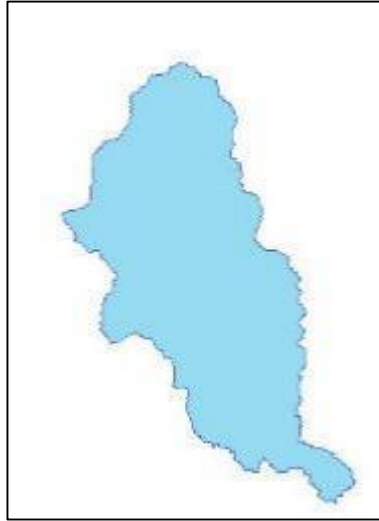


Figura 10 Área estudio, cuenca del rio Hacha.

Con la cuenca hidrográfica delimitada producto del proceso de modelamiento se realiza el corte de cada una de las imágenes a estudiar.

6.1.4 recorte imágenes Landsat

El recorte de las imágenes Landsat, se realizó en el software Erdas Imagine 2014, mediante la herramienta de Raster, Subset & Chip, Create Subset Image, se carga la imagen Landsat compuesta, se define el la dirección y nombre de salida, se carga el modelo de la cuenca en formato AOI y se procede de ejecutar.

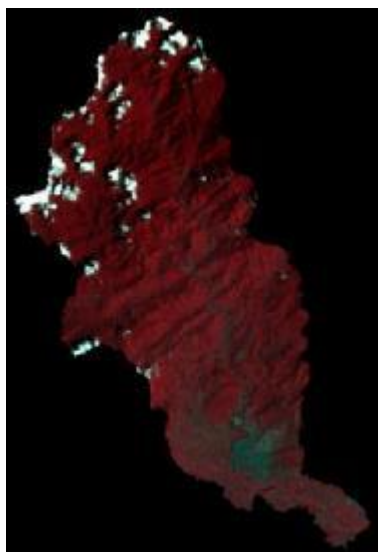


Figura 11 Recorte imagen año 2000.

Se repite el procedimiento en cada una de las imágenes, para iniciar con el proceso de clasificación supervisada.

6.1.5 Clasificación Supervisada

El proceso de calificación supervisada se realizó en el software Erdas Imagine 2014, inicialmente se identificaron los tipos y subtipos de coberturas presentes en el área estudio.

6.1.7.1 Metodología Corine Land Cover Adaptada a Colombia Escala 1:100.000

El objetivo de la aplicación de esta metodología es obtener una capa de cobertura de la tierra de manera relativamente rápida y sencilla, permitiendo la comparación de datos y porcentajes de uso y ocupación del territorio, lo que facilita hacer el análisis multitemporal de ocupación del territorio, en este caso la cuenca del río hacha (Alarcon, et ál, 2008, p. 32)

La identificación y clasificación de las coberturas presentes en el área estudio se determinaron mediante la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100.000.

Tabla 1 Clasificación de coberturas según Leyenda Nacional de Coberturas.

LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - COLOMBIA
1. Territorios artificializados
1.1.1. Tejido urbano continuo
2. Territorios agrícolas
2.3. Pastos
2.3.1. Pastos limpios
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
3. Bosques y áreas seminaturales
3.1. Bosques
3.1.1. Bosque denso
3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
5. Superficies de agua
5.1. Aguas continentales
5.1.1. Ríos (50 m)

Con las coberturas definidas se procede a desarrollar la clasificación supervisada con la herramienta Raster, Supervised, Signature Editor.

6.7.6 Editor de firmas (Signature editor)

Con la aplicación de esta herramienta se busca crear las firmas espectrales de cada una de las coberturas preséntese en la cuenca, para esto se toman muestras desde la herramienta AOI,

Polígono. Una vez identificadas las coberturas se asigna nuevo nombre a nuestra imagen de clasificación.

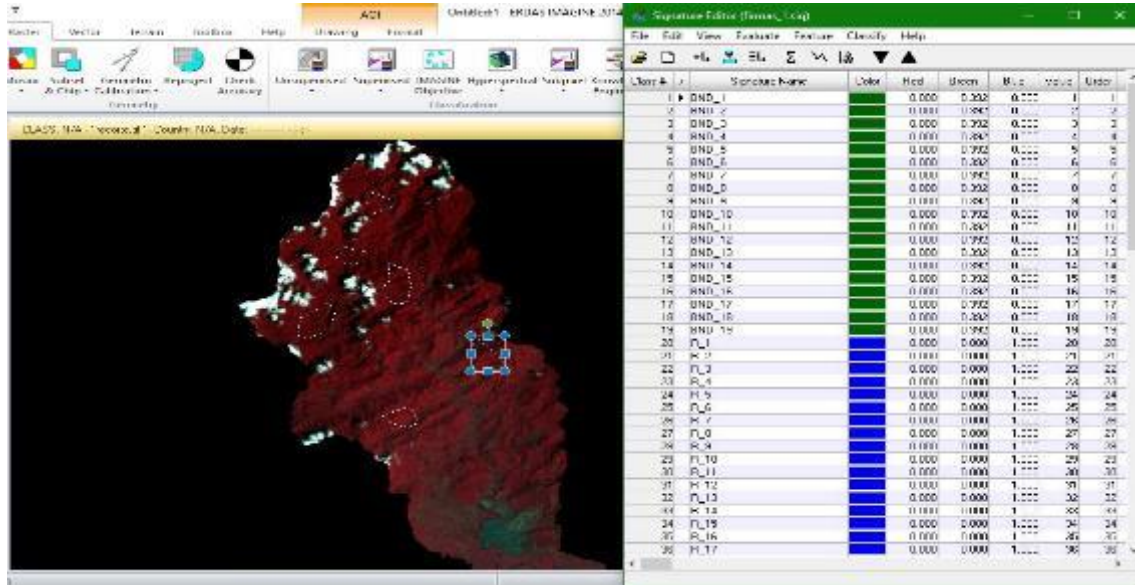


Figura 12 Firmas Espectrales.

Después de crear las firmas espectrales se procede a ejecutar la aplicación Supervised Classification, en la cual se cargó la imagen estudiada, de la misma manera las firmas espectrales y se ejecutó la aplicación.



Figura 13 Clasificada.

Con la imagen de coberturas inicial se continua con la recodificación de la imagen.

6.7.7 Recodificación (Recode)

Con la herramienta de recodificación para áreas temáticas se busca crear clases individuales de uso del suelo, agrupando por clases cada una de las muestras capturadas.

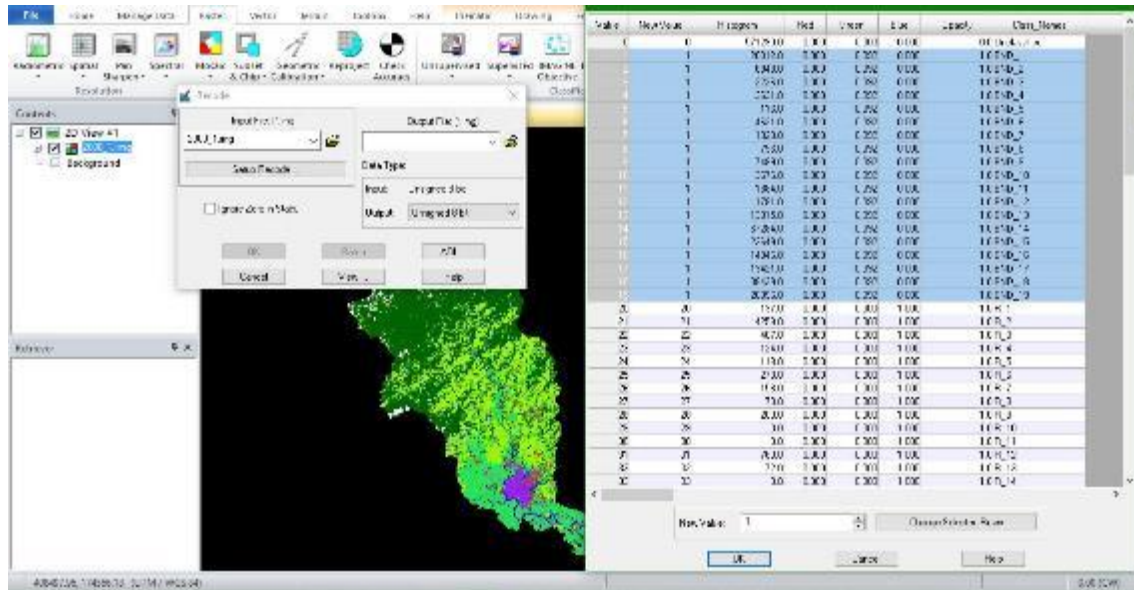


Figura 14 Procedimiento de recodificación.

Una vez agrupadas las muestras, desde la herramienta Thematic, Recode, se asignaron nombres de salida a la imagen de coberturas y ejecuta.

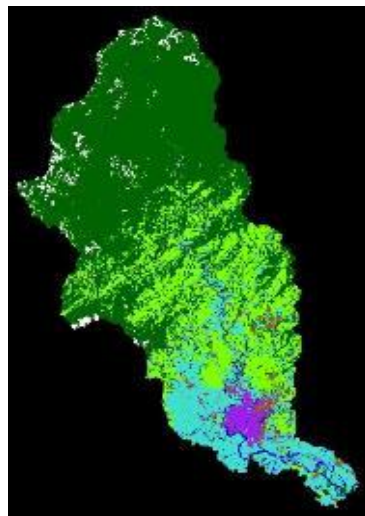


Figura 15 Recode.

Con nuestra imagen recodificada, se aplica el filtro de barrido (Neighborhood), para darle realce a la imagen.

6.7.8 Filtro de barrido (Neighborhood):

Se aplica este filtro desde la herramienta Thematic, Neighborhood, para disminuir el número de pixels individuales mezclados dentro de áreas que tienen un uso del suelo predominante, gracias a esta se podrá disminuir el aspecto de la “sal y pimienta” a la imagen, en este caso se repitió el proceso una vez para obtener un mejor realce.

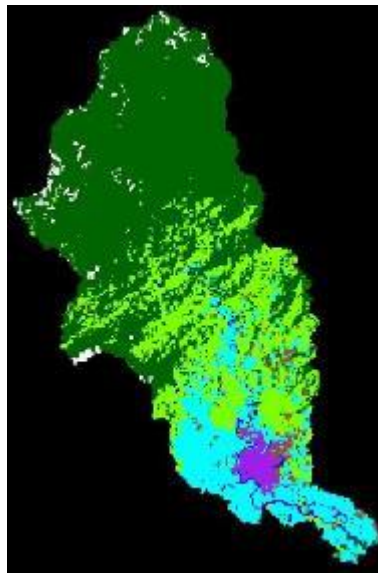


Figura 16 Filtro Neighborhood.

La imagen resultante del proceso de realce es utilizada para aplicar el filtro de grupo (Clump).

6.7.9 Filtro Grupo (Clump)

Se aplica este filtro desde la herramienta Thematic, Clump, buscando agrupar los pixeles cuyos niveles digitales sean iguales.

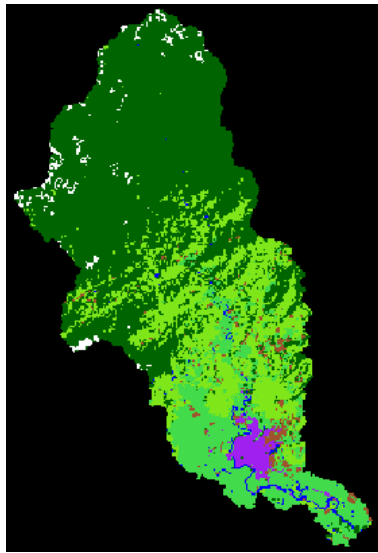


Figura 17 Filtro clump.

Con la imagen resultante del filtro clump, se aplica el filtro de eliminar (Elimiate).

6.7.10 Filtro eliminar (Eliminate):

El filtro eliminar (Eliminate), ayuda a eliminar los polígonos pequeños, uniéndolos a los polígonos de áreas mayores, según la metodología Corine Land Cover la escala final de nuestras imágenes es de 1:100.000, por lo cual en la opción Minimum se selecciona la opción 100 píxeles, lo que hace referencia a 9 hectáreas en terreno, este filtro se ejecutó desde la herramienta Thematic, Eliminate.

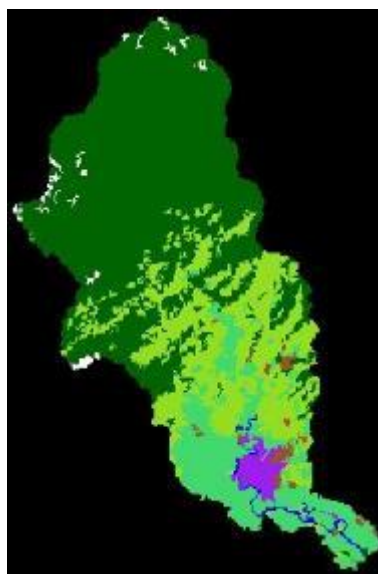


Figura 18 Filtro Eliminate.

Con la imagen procesada se procedió a convertirla de raster a vector con la herramienta Raster to Shapefile.

6.7.11 Raster to Shapefile:

Convertir la imagen de raster a vector se hace con el fin de poligonizar las coberturas presentes en el área estudio, aplicando la herramienta Vector, Raster to Shapefile.

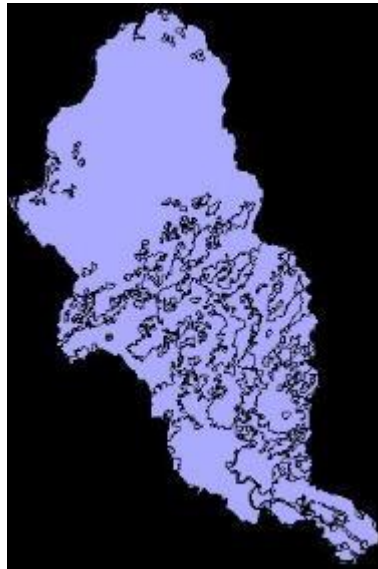


Figura 19 Imagen poligonizada.

Una vez poligonizadas las coberturas de la imagen final, se procede a calcular el área de cada cobertura en hectáreas, para este procedimiento se utilizó en software ArcGis 10.2.1. inicialmente se abre la imagen de coberturas desde una nuevo ArcMap, donde se crea un nuevo campo en la tabla de atributos, el cual fue llamado Superficie y posteriormente con la herramienta Calcular Geometrías (Calculate Geometry), se calcula el área en hectáreas de cada polígono, a continuación, se procede a realizar la suma con la herramienta Summarize de dichos polígonos con respecto a las coberturas presentes en el área de estudio, obteniendo la superficie en hectáreas de estas.

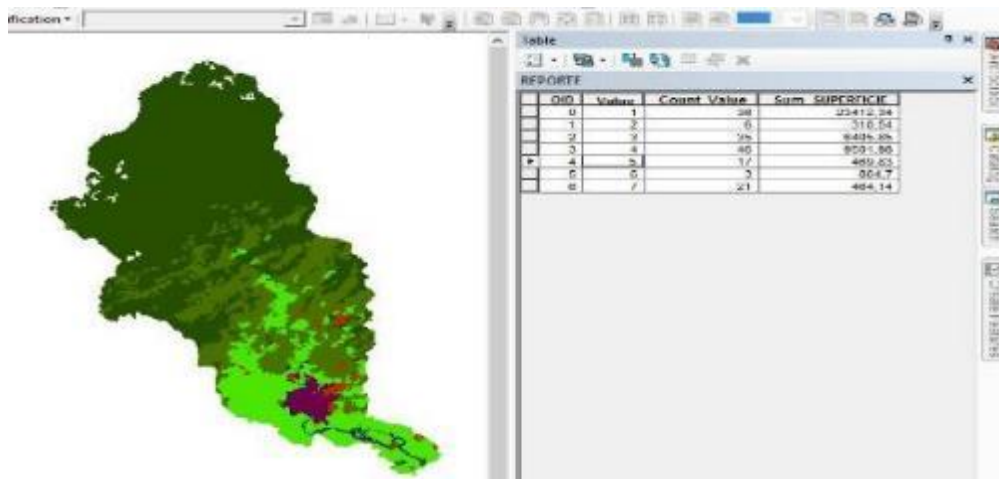


Figura 20 Imagen de superficie de coberturas.

El proceso de clasificación supervisada, poligonización y suma de superficie se desarrolló en las tres imágenes seleccionadas para el análisis multitemporal.

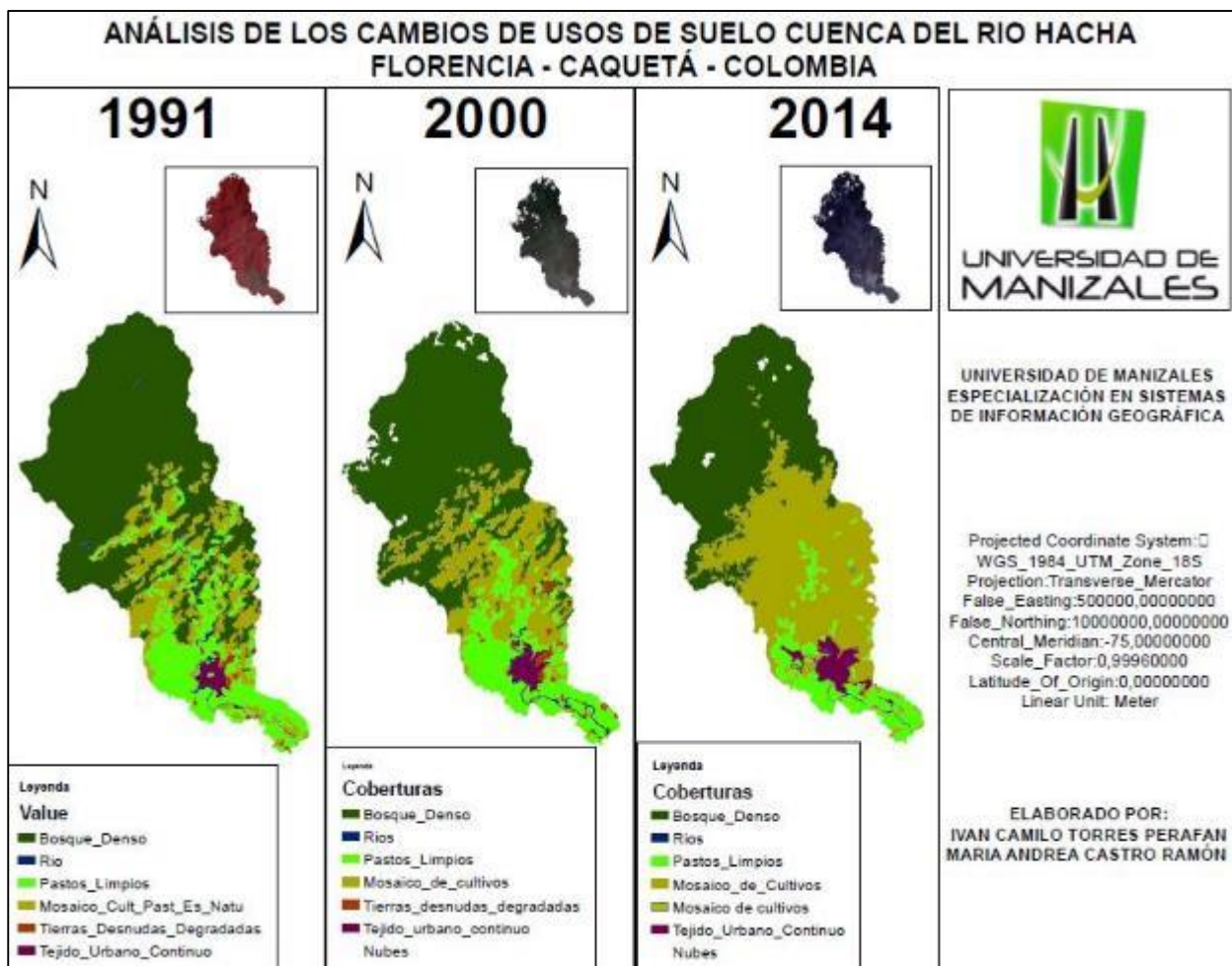


Figura 21 Imágenes clasificadas a escala 1:100.000.

6.2 Discusión de resultados

Después de realizar el análisis multitemporal de la cuenca del río Hacha, teniendo como insumo básico tres imágenes satélites, a las cuales se realizó la clasificación de coberturas de los años 1991, 2000 y 2014, en donde se logró evidenciar que las principales actividades económicas del municipio de Florencia son la ganadería y la agricultura. Teniendo que la cobertura de pastos (Potreros) y el uso de suelo para la actividad ganadera han disminuido, mientras que la cobertura de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales han aumentado con usos para cultivos suelos agrícolas.

En la siguiente tabla se muestran las modificaciones que se han presentado en el transcurso de 23 años.

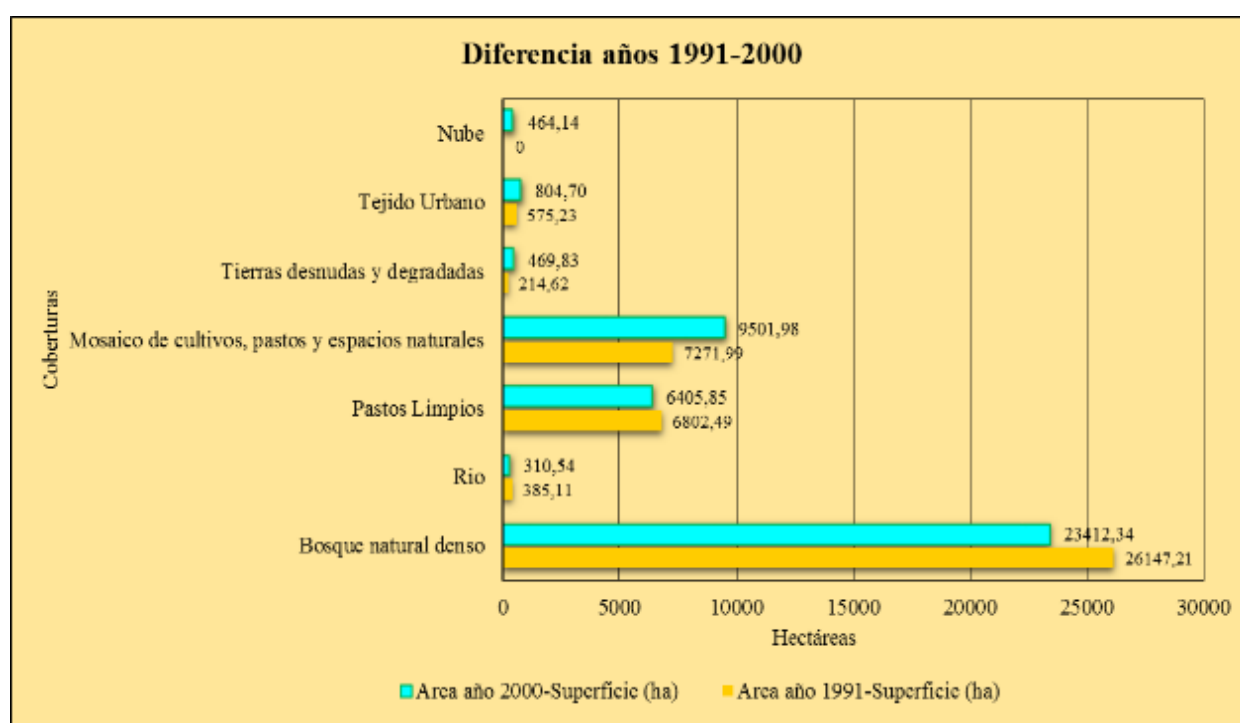
Tabla 2 Diferencia de cobertura y uso del suelo Año 1991-2000.

Coberturas	Uso de suelos	Área año	Área año	Área año	Diferencia	Diferencia
		1991- Superficie (ha)	2000- Superficie (ha)	2014- Superficie (ha)	años 1991-2000 (ha)	años 2000-2014 (ha)
Bosque natural						
denso	Forestal	26147,21	23412,34	17987,93	2734,87	5424,41
	Recurso					
Rio	Hídrico	385,11	310,54	208,63	74,57	101,91
Pastos Limpios	Ganadería	6802,49	6405,85	3823,50	396,64	2582,35
Mosaico de						
cultivos, pastos y						
espacios naturales	Agrícola	7271,99	9501,98	17704,16	2229,99	8202,18

Tierras desnudas						
y degradadas	Deforestación	214,62	469,83	46,20	255,21	423,63
Tejido Urbano	Viviendas	575,23	804,70	1357,87	229,47	553,17
Nube	N/A	0	464,14	256,51	464,14	207,63
Total		41396,65	41369,38	41384,8		

Fuente: los autores, 2016

Gráfica 1 Diferencia de cobertura año 1991 y año 2000.



Fuente: los autores, 2016.

Al implementar la metodología expuesta en este análisis y después de realizar la clasificación de coberturas y de uso de suelo, utilizando software de teledetección, Erdas Imagine 2014 e imágenes satelitales Landsat 5 TM, Landsat 7 TM+ y Landsat 8 OLI se identificó; que a pesar que todas las coberturas seleccionadas han presentado modificaciones, se destaca que entre los años 1991 y 2000, se identifican tierras desnudas y degradadas, indicador de aumento en la tasa deforestación en la zona, de igual manera se evidenció que Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales

mostraron aumento en cultivos agrícola. De la misma forma se evidenció la disminución en el ámbito forestal de bosques naturales densos en un porcentaje de 6,569.

Tabla 3 Coberturas y uso de suelo comparativo en porcentaje de los años 1991-2000-2014

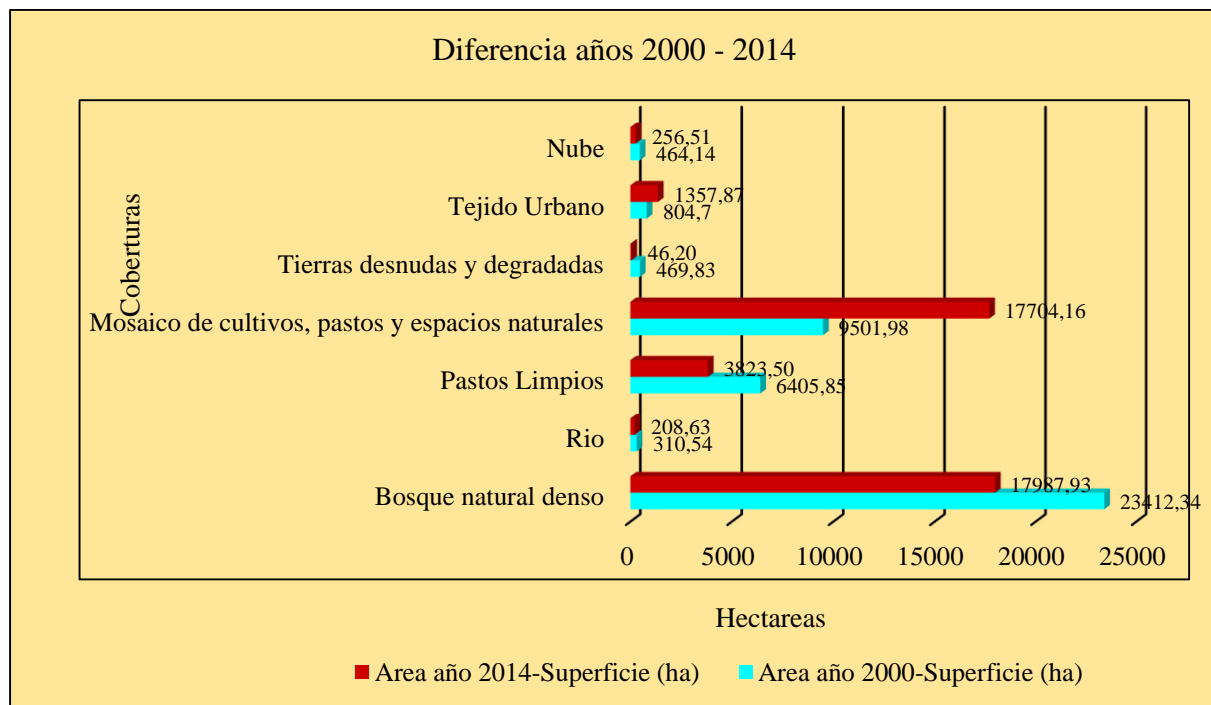
Coberturas	Uso de suelo	Porcentajes/1991	Porcentajes/2000	Diferencia (%)	Porcentajes/2014	Diferencia (%)
Bosque natural denso	Forestal	63,16	56,593	6,569	43,47	13,13
Rio	Hídrico	0,93	0,751	0,180	0,50	0,25
Pastos Limpios	Ganadería	16,43	15,485	0,948	9,24	6,25
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Agrícola	17,57	22,969	-5,402	42,78	-19,81
tierras desnudas y degradadas	Deforestación	0,52	1,136	-0,617	0,11	1,02
Tejido Urbano	Viviendas	1,39	1,945	-0,556	3,28	-1,34

Fuente: los autores, 2016.

En las coberturas de tierras desnudas y degradadas y tejidos urbanos se presentó un aumento significativo, en la primera cobertura mencionada, tanto así que hay una diferencia de 0,616 % entre los años de 1991 y 2000, porcentaje que es altamente significativo y que se presenta a causa de procesos de deforestación. En referencia a la cobertura de tejido urbano se notó el aumento de esta cobertura de 1,89%, lo que hace notar que el proceso de expansión urbana del municipio de Florencia se ha inclinado hacia la Cuenca del Río Hacha, lo que genera presión directa sobre los recursos naturales presentes en la zona analizada.

Con relación al aumento de cultivos agrícolas, que pasó de 17,57% en 1991 a 42,78 % en 2014, claramente se evidencia que los usos de suelo han presentado modificaciones e igualmente la cultura de la ganadería extensiva a disminuido levemente, se presume que esta situación se ha generado por los diferentes programas y proyectos productivos que involucran a los propietarios de predios presentes en la cuenca.

Gráfica 2 Diferencia de cobertura año 2000 y año 2014.



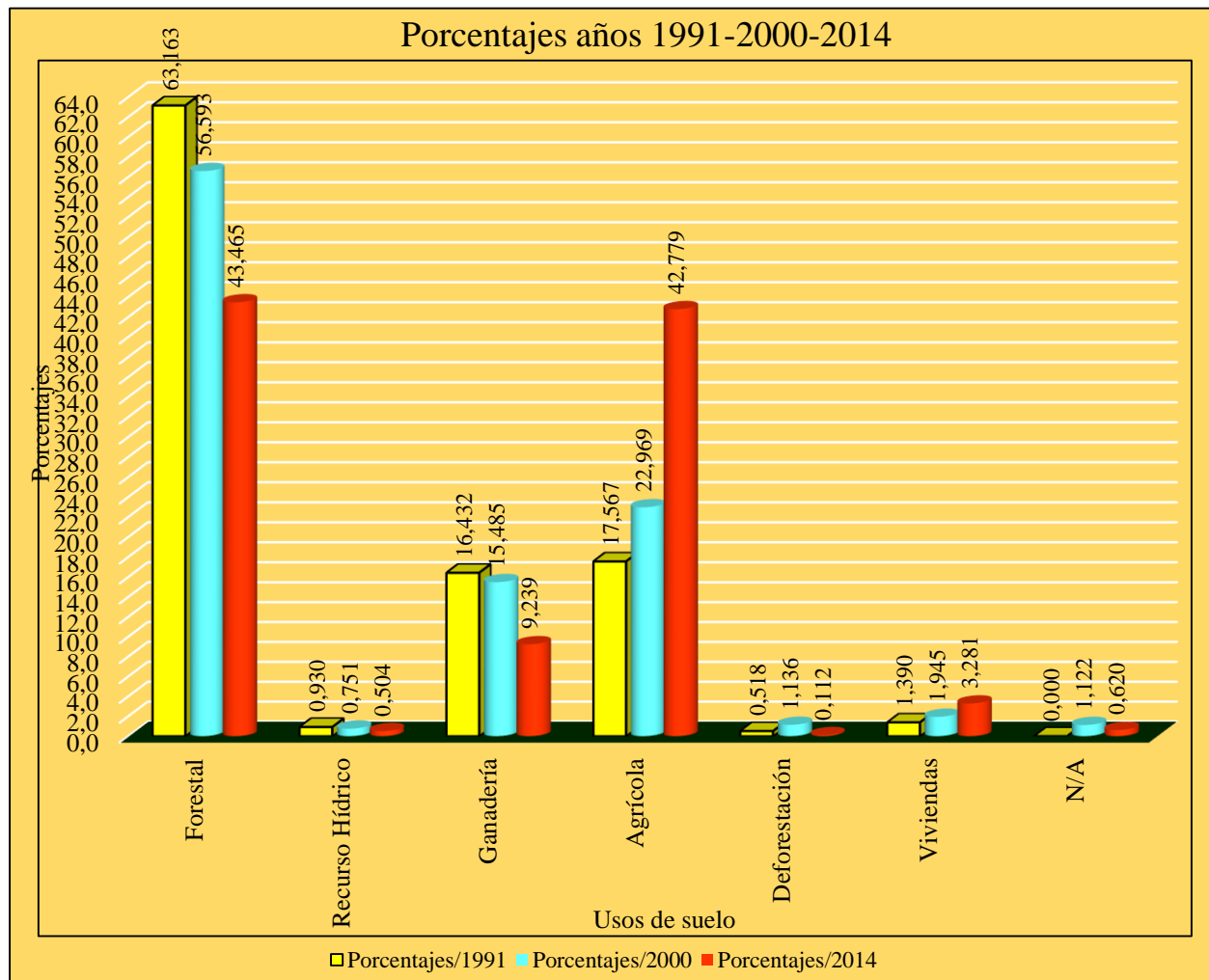
Fuente: los autores, 2016.

Posteriormente, como se muestra en la gráfica anterior, los cambios en la cantidad de hectáreas que se ha presentado durante los años 2000 al 2014, indica que la cobertura con mayor número de hectáreas de diferencia es la de Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, la cual se clasificó como uso de suelo agrícola, que asciende a 9501,98 ha en el año 2000 y en 2014 abarco 17704,16 ha., presentando una diferencia de 8202,18 ha. de aumento de esta actividad durante 14 años. Igualmente se evidencia una disminución en la cobertura de bosque natural denso, teniendo que, en el año 2000, se obtenían 23.412,34 ha, mientras que, en el año 2014, se logran 17.987,93 ha., presentando una diferencia de 5.424,41 ha. que ya no existen para el uso de suelo forestal, a pesar que en el Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Hacha, informa que a partir de la cota 1000 es Reserva Forestal de la Amazonia, (POMCA, 2005, p. 156), por lo tanto, la población que se encuentra localizada en esta zona, no ha protegido ni conservado el bosque natural existente. Consecutivamente, la cobertura de pastos limpios que se clasifica con uso de suelo de ganadería, la cual presentó una disminución entre los años 2000 y 2014, en cuanto a las hectáreas, teniendo que para el año 2000, se conseguían 6.405,85 ha. y en el año 2014 de 3.823,50 ha., teniendo diferencia de 2.582,35 ha. esto se presume debido a que la ganadería es una de las principales actividades económicas del departamento del Caquetá y que usa el suelo de manera inadecuada, ya que se deja una cabeza de ganado por hectárea. De la misma manera, el municipio de Florencia se encuentra en desarrollo y crecimiento urbano, siendo la capital del departamento del Caquetá, el cual se visualiza como un escenario turístico, debido a que la población podrá relacionarse directamente con los bosques, ríos, quebradas y fauna silvestre que aún se conservan, por lo tanto, la ampliación para la elaboración de viviendas y lugares de descanso para la comunidad ha incrementado, teniendo que en año 2000 es de 804,70 ha. y en el año 2014 de 1357,87 ha., teniendo una diferencia de 553,17ha, de la misma manera este

aumentado también es debido a los asentamientos subnormales, quienes construyen viviendas en lugares que se encuentran destinados para otros usos de suelo.

En la siguiente gráfica, se evidencian las modificaciones de cada una de las clasificaciones de los usos de suelos en porcentaje, durante 23 años, utilizan el software ArcGis 10.2.1, utilizando las herramientas de teledetección que este posee.

Gráfica 3 Coberturas y uso de suelo comparativo de los años 1991-2000-2014.



Fuente: los autores, 2016.

En la anterior gráfica, se muestra los diversos cambios que se han desarrollado durante 23 años partiendo desde el año 1991 al 2014, en donde se identifica que el uso de suelo agrícola, viviendas ha presentado aumento a través de los años, el uso de suelo forestal, recurso hídrico y de ganadería

ha disminuido durante los tres periodos estudiados. De la misma manera se logra evidenciar que la deforestación presentó cambios diferentes en donde para el primer periodo estudiado (1991-2014) presenta un aumento, y para el segundo periodo estudiado (2000-2014) se encuentra disminuyendo.

7. CONCLUSIONES

- Mediante la utilización de imágenes satelitales Landsat en tres periodos, (1991-2000-2014), en el transcurso de 23 años y utilizando un análisis multitemporal en el área de estudio, se logró observar los cambios de cobertura y usos de suelos que se ha presentado en la cuenca del río Hacha.
- Mediante el estudio realizado se logró identificar las diversas modificaciones en las coberturas y usos del suelo, teniendo que los mayores cambios que se presentaron en el transcurso de 23 años, se evidencian en la cobertura de Bosque Natural Denso.
- Al realizar la clasificación de coberturas de mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, los cuales se determinaron como uso de suelo agrícola, presentando un mayor aumento entre los años 2000 y 2014, es decir, en el transcurso de 14 años; se presume que es debido a que es una de las principales actividades económicas, del departamento.
- La cobertura de tierras desnudas y degradadas, presentó un comportamiento diferente a las coberturas clasificadas, debido a que en el año 1991 se poseían 214,62ha, y para el año 2000 de 469,83 ha. presentando un aumento de 255,21 ha. producto de diversos procesos naturales y antrópicos, mientras que para el año 2014, se encontraron 46,20ha, mostrando disminución con una diferencia de 423,63 ha. menor a la identificada entre los años 1991 y 2000.
- Con relación a la cobertura Pastos limpios, entre los años 1991 y 2000, presentó una diferencia en la cual disminuyó su acción, mientras que para el año 2014 presentó una mayor disminución 2582,35ha. de diferencia entre el año 2000 a 2014, esto se cree que a pesar que la ganadería es una de las actividades principales del departamento del Caquetá, en el municipio de Florencia

esta actividad en la parte alta o llamada zona de cordillera, presentan dificultad para el sostenimiento del ganado.

- Respecto al tejido urbano durante los 23 años estudiados presentó aumento, debido al incremento población del municipio de Florencia, el cual se encuentra en crecimiento y desarrollo, en donde, según el DANE, en el año 1991, habían 105.912 personas, en el año 2000 con 134.613 personas y en el año 2014 con 169.336 personas, con una proyección al 2020 de 187.498 personas, por lo tanto, se eleva el número de hectáreas en esta actividad. Igualmente, la creación de asentamientos subnormales, los cuales elaboran viviendas.
- Los sistemas de información geográfica y la teledetección son software, que permiten realizar el procesamiento en fotografías aéreas e imágenes satelitales, permitiendo desarrollar procesos de investigación, de análisis, también admite cuantificar información importante para la planificación del territorio.

8. RECOMENDACIONES

- A pesar que la cuenca del rio Hacha cuenta con un Plan de Ordenación y Manejo, se requiere del cumplimiento de las normas como; El Decreto 1449 de 1977 señala “las obligaciones de los propietarios de predios ubicados en las riberas de los cauces de agua de conservar, proteger y aprovechar adecuadamente las aguas”, La Ley 388 de 1997 de desarrollo territorial, tiene como objetivos: “buscar un uso equitativo y racional del suelo, lograr que se cumpla la función ecológica de la propiedad consagrada en la Constitución, permitir que se hagan efectivos los derechos constitucionales a la vivienda digna, los servicios públicos, velar por la creación y defensa del espacio público, la protección del medio ambiente y la prevención de desastres, lograr la prevalencia del interés general sobre el interés particular, y muy especialmente, complementar la planificación económica y social con la dimensión territorial a través de la obligatoriedad que impone a los municipios del país de formular el Plan de Ordenamiento Territorial”. de la misma manera del cumplimiento de los proyectos propuestos en este documento para la conservación y manejo de usos de suelos agrícola, como “Creación de un incentivo por conservación y/o reforestación, reasentamiento de familias ubicadas en la Reserva Forestal de la Amazonia”, “Elaboración de un plan de manejo de especies de fauna silvestre amenazadas y en peligro de extinción” (POMCA, 2005, p.280-288-304) y de esta manera mejorar las condiciones ambientales y sociales.
- Desarrollar procesos de planificación, donde se logre determinar las actividades o usos que se puedan generar sobre el ecosistema y de esta manera identificar las zonas en las que se lograría realizar la ampliación del municipio, con el fin de minimizar los impactos ambientales negativos.

- Realizar un programa de reasentamiento para la población que encuentra ubicada en las franjas de protección, con el propósito de mejorar las condiciones en que se encuentran esta población y efectuar una solución al problema de contaminación y de vivienda digna.
- En el municipio de Florencia se han aumentado los procesos productivos, mediante la formulación y ejecución de proyectos, sin embargo, se deberán desarrollar nuevas estrategias para que la población construya un sentido de pertenencia y de conciencia sobre la conservación y buen uso de los recursos naturales.
- Es necesario que la administración municipal, posea una base de datos espaciales, en donde contenga información cartográfica actualizada y detallada del municipio, con el propósito de que esta información logre ser utilizada para proyectos de planificación, como la identificación de zonas de riesgos ambientales y antrópicos, de la misma manera destinar profesionales que conozcan del tema de sistemas de información geográfica para el adecuado manejo de la información.
- Se deberá realizar el levantamiento cartográfico de las zonas de mayores modificaciones, con el fin de poseer información del terreno en campo y de esta manera contener información cartográfica que podría ser utilizada en diversos proyectos.
- Realizar talleres de educación ambiental prácticos, en donde la población sea participativa y conozcan el impacto ambiental negativo que generar al realizar actividades no permitidas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcon, J.C et. ál. 2008, Mapa de cobertura de la tierra cuenca Magdalena-Cauca, reportado p. 29-32
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021521/LIBROCORINEFINAL.pdf>.
- Bosque Sendra J. y García R, C. (2009) *EL USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL*, pag 1. Recuperado de http://geogra.uah.es/joaquin/pdf/SIG_Ordenacion-territorio.pdf. (Publicado en Anales de Geografía de la Universidad complutense, 2000, nº 20, pp. 49-67), (U.S. Department of the Interior, 2014).
- Cabrera M. E. et ál 2011. Memoria Técnica de la Cuantificación de la Deforestación Histórica Nacional Escalas Gruesa y Fina Memoria Técnica de la Cuantificación de la Deforestación Histórica Nacional Escalas Gruesa y Fina. P 78. Recuperado de 10 de octubre de 2015.
- Cuevas, M. L., Garrigo, A., Perez, J., & Iura Gonzales, D.(s.f.).Inecc. Recuperado el 19 de 03 de 2016, de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/639/procesos.pdf>.
- <http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13817/Memoria+T%C3%A9cnica+Deforestaci%C3%B3n+.pdf/5f2741b4-ffa1-4b58-b986-f2fbefd6d006>.
- Departamento encargado de las estadísticas en Colombia (DANE) (s.f) recuperado de <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/proyecciones-de-poblacion>.
- Environmental Systems Research Institute - ESRI, 2015, Recuperado <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-fill-works.htm>,
Obtenido 4 de enero de 2016.

- Environmental Systems Research Institute - ESRI, 2015, Recuperado http://desktop.arcgis.com/es/desktop/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/how-flow-direction-works.htm#ESRI_SECTION1_E965FCE0DBC74D46B8FCC356170C2ECD, Obtenido 3 de enero de 2016.
- Environmental Systems Research Institute - ESRI, 2015, Recuperado <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-accumulation-works.htm>, Obtenido 2 de enero de 2016.
- Environmental Systems Research Institute - ESRI, 2016, Recuperado <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/basin.htm>, Obtenido 5 de enero de 2016.
- Instituto Nacional de estadística y Geografía – INEGI. (S.F.), Recuperado, <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>, Obtenido de 4 enero de 2016.
- Lantada Zarzosa, N. y Núñez, M. A. (2002): Sistemas de Información Geográfica. Prácticas con ArcView. Edición de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Barcelona, pag. 226. Recuperado de <file:///D:/usuario/Downloads/lantada-zarzosa-n-y-nunez-andrs-ma-2000-sistemas-de-informacin-geografica-prcticas-con-arcview-edicin-de-la-universidad-politcnica-de-catalua-upc-barcelona-226-p-0.pdf>.
- Merenson, C. E., et ál. 2004. Primer Informe Nacional de Bosque Nativos. Argentina. pag. 2
Recuperado de http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UMSEF/File/PINBN/nueva_version_manuales/pinbn_manual_teledeteccion.pdf

- Murcia, G.U.G. Huertas, M.C. Rodríguez, J.M. Castellanos, H.O. 2010. P. 3. Cambios multitemporales de los bosques y otras coberturas de la Amazonia colombiana, a escala 1:100.000, en el periodo 2002 al 2007. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Bogotá, D. C. Recuperado: 07 de enero de 2016 de http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=a0ec40be-0617-4ee8-8f27-1b66890bfc&groupId=762.
- Murcia, G.U.G. Huertas, M.C. Rodríguez, J.M; Castellanos, H.O. 2011. P. 66. Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonia Colombiana, a escala 1:100.000. Cambios multitemporales en el período 2002 al 2007. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI. Recuperado: 07 de mayo de 2016 de http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=38d21505-590c-4faa-a593050da603aa1c&groupId=762.
- *Plan de Ordenamiento y manejo de la cuenca del Rio Hacha 2006-2015*. (2005) pag 1-15-40-41-42-126-156-180-188-304. Recuperado de: http://www.corpoamazonia.gov.co/files/Ordenamiento/POMCA/POM_Hacha.pdf
- Ruiz, V. Savé, R. Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011. *Ecosistemas* 22(3):117-123. doi.: 10.7818/ECOS.2013.22-3.16, recuperado de [file:///D:/usuario/Downloads/814-2077-1-PB%20\(1\).pdf](file:///D:/usuario/Downloads/814-2077-1-PB%20(1).pdf). pag. 117. Publicado en Open Access bajo los términos de Creative Commons attribution Non Comercial License 3.0. Consultado 18 de febrero de 2016.
- U.S. Department of the Interior, U. G. (12 de 10 de 2014). science for changing world. Obtenido de http://landsat.usgs.gov/what_is_landsat.php

- Kramer, H. J. (24 de 07 de 2002). EoPortales Directory. Obtenido de sharing Earth Observation Resources: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/1/landsat-4-5>
- U.S. Department of the Interior, U. G. (12 de 10 de 2014). Science for a changing world. Obtenido de http://landsat.usgs.gov/about_landsat5.php
- U.S. Department of the Interior, U. G. (12 de 10 de 2014). Science for a changing world. Obtenido de http://landsat.usgs.gov//about_landsat7.php
- U.S. Department of the Interior, U. G. (12 de 10 de 2014). Science for a changing world. Obtenido de <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3186>
- U.S. Department of the Interior, U. G. (12 de 10 de 2014). Science for a changing world. Obtenido de http://landsat.usgs.gov//about_ldcm.php
- Olaya. V. 2014. Sistemas de Información Geográfica. P 26. Recuerdo de ftp://ftp.ehu.es/cidira/profs/iipbaiza/Libro_SIG.pdf
Consultado 11 de mayo de 2016.