

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL Y CAMBIO DE  
USO DEL SUELO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROGRAMA DE  
REFORESTACIÓN DE LA FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS EN EL  
MUNICIPIO DE POPAYÁN, CAUCA.

JENNI MARCELA DE LA CRUZ BURGOS  
INGENIERA FORESTAL

GUSTAVO ADOLFO MUÑOZ GARCÍA  
INGENIERO FORESTAL



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

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL Y CAMBIO DE  
USO DEL SUELO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROGRAMA DE  
REFORESTACIÓN DE LA FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS EN EL  
MUNICIPIO DE POPAYÁN, CAUCA.

JENNI MARCELA DE LA CRUZ BURGOS  
INGENIERA FORESTAL

GUSTAVO ADOLFO MUÑOZ GARCÍA  
INGENIERO FORESTAL

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



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

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por permitirnos culminar esta etapa de la mano de nuestras familias, compañeros y profesores, quienes fueron un apoyo incondicional durante nuestra formación.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	11
1. ÁREA PROBLEMÁTICA .....	13
1.1. DELIMITACIÓN .....	13
1.2. LOCALIZACIÓN .....	15
1. OBJETIVOS.....	18
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.2. OBJETIVO ESPECIFICO .....	18
2. JUSTIFICACIÓN.....	19
3. MARCO TEÓRICO .....	20
3.1. GENERALIDADES .....	20
3.2. REFORESTACIÓN EN COLOMBIA .....	20
3.3. CERTIFICADO DE INCENTIVO FORESTAL – CIF.....	21
3.4. SILVICULTURA COMO ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN EN LA ZONA MARGINAL DE LA CUENCA DEL RIO MAGDALENA .....	22
3.5. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA .....	22
3.6. GEORREFERENCIACIÓN ESPACIAL.....	23
3.7. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA .....	23
3.8. TELEDETECCIÓN.....	24
3.8.1. Imágenes satelitales.....	24
3.8.2. Análisis multitemporal .....	25
3.9. ANTECEDENTES.....	25
4. METODOLOGÍA.....	30
4.1. TIPO DE TRABAJO.....	30
4.2. PROCEDIMIENTO .....	30
4.2.1. Obtención de información .....	30
4.2.2. Estandarización de la información secundaria .....	32
4.2.3. Procesamiento y análisis de la información .....	32
4.2.4. Producción de cartografía .....	37
5. RESULTADOS .....	38
6. CONCLUSIONES .....	52
7. RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización del municipio de Popayán .....	14
Ilustración 2. Vista general de la ubicación del municipio de Popayán.....	15
Ilustración 3. Clasificación de conflicto del uso de suelos del municipio de Popayán año 2003.....	17
Ilustración 4. Georreferenciación espacial de las herramientas paisajísticas .....	30
Ilustración 5. Imágenes satelitales Landsat 8 - año 2003 .....	31
Ilustración 6. Imágenes satelitales Landsat 8 – año 2016 .....	32
Ilustración 7. Delimitación del área de estudio con respecto a la información de georreferenciación de KFW .....	33
Ilustración 8. Combinación de bandas de la imagen satelital 2003.....	34
Ilustración 9. Combinación de bandas de la imagen satelital 2016.....	35
Ilustración 10. Creación de nube de puntos.....	36
Ilustración 11. Mapa de las coberturas del área de estudio para el año 2003. ....	39
Ilustración 12. Mapa de las coberturas del área de estudio para el año 2016. ....	40
Ilustración 13. Cobertura boscosa – Año 2003 .....	46
Ilustración 14. Cobertura boscosa – Año 2016 .....	47
Ilustración 15. Base de datos geográfica .....	48
Ilustración 16. Coberturas boscosas año 2003 y año 2016. ....	50
Ilustración 17. Mapa de ubicación de las herramientas paisajísticas.....	51

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de tipos de cobertura para los años 2003 y 2016 en el área de estudio en el municipio de Popayán .....	41
Gráfico 2. Cambios en la cobertura clasificada como Bosques Naturales .....	42
Gráfico 3. Cambios en la cobertura clasificada como Plantaciones forestales .....	42
Gráfico 4. Cambios en la cobertura clasificada como Zona Urbana .....	43
Gráfico 5. Cambios en la cobertura clasificada como Pastos .....	44
Gráfico 6. Área de los tipos de cobertura clasificados en el área de estudio .....	44

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Área reforestada en los municipios del departamento del Cauca.....	13
Tabla 2. Uso de suelo en el Municipio de Popayán. ....	16
Tabla 3. Características de las imágenes Landsat 8 .....	24
Tabla 4. Características de las imágenes satelitales seleccionadas.....	31
Tabla 5. Clasificación supervisada de coberturas.....	36
Tabla 6. Cambios en las coberturas del suelo 2003 y 2016. ....	45

## GLOSARIO

**Restauración y rehabilitación natural:** es el proceso de reforestación que implica la revegetación de áreas degradadas, dañadas o destruidas, mediante el establecimiento de plantaciones de especies arbóreas, con el objetivo de devolver esta área a su condición natural similar a la original, causando un impacto ambiental y social en el área de influencia.

**Análisis multitemporal:** este proceso implica el análisis digital de dos o más imágenes satelitales, referidas cronológicamente, las cuales guardan similitud en cuanto a sus características y propiedades, y que al ser procesadas permiten identificar cambios en las características de las coberturas vegetales, dando indicios claros del cambio de uso de los suelos y su dinámica.

**Información geográfica:** hace referencia a los datos referenciados geográficamente de cualquier objeto que ocupa un espacio sobre la superficie terrestre, y que además relacionan información descriptiva sobre dicho objeto.

**Imagen satelital:** es la representación visual de la información captada por un sensor (satélite artificial), de un objeto ubicado sobre la superficie terrestre, cuya principal aplicación se basa en su procesamiento para extraer información que permita resolver problemas particulares. Las imágenes satelitales muestran más detalles de lo que el ojo humano puede detectar, debido a que su mecanismo se fundamenta en la detección de cantidad de radiación electromagnética (energía).

**Cambio de uso de suelo:** este proceso implica el cambio en la cobertura y el uso de la tierra con fines diferentes a los estipulados, además es un proceso acelerado y significativo, que causa consecuencias negativas que muchas veces no son reversibles. La transformación de los ecosistemas naturales es causada principalmente por factores antrópicos (actividades humanas) ocasionando impactos sin precedentes en la biodiversidad, el clima y otros servicios ecosistémicos.



## RESUMEN

Se realizó un estudio de cambios de cobertura uso de suelo en el municipio de Popayán a través de un análisis multitemporal en la zona de influencia del programa *Silvicultura como alternativa de producción en la zona marginal de la cuenca del río Magdalena* la cual comprende los municipios de Popayán, Timbío, Tambo y Sotará, dentro de los cuales se realizaron siembras como parte de las actividades del programa establecidas en diferentes tipos de herramientas paisajísticas. Dentro de esta área de estudio se cuantificó la cobertura boscosa tomando como insumos información de los periodos de 2003 y 2016 suministrados por EARTH EXPLORER; utilizando el programa ArcGIS se realizó una clasificación supervisada de las diferentes coberturas presentes en el área de estudio de manera que permitiera realizar el análisis Multitemporal de las mismas. El análisis mostró que del período 2003 al 2016, las zonas de área de Bosque se incrementaron pasando de un 37% a un 40 % respectivamente, el área nueva se observa principalmente sobre los bordes de Ríos y Quebradas que sobre las zonas internas boscosas donde no se observan incrementos significativos. Las plantaciones forestales presentan una disminución del 1% lo cual es probable teniendo en cuenta la rotación y el aprovechamiento forestal maderero al que es sometido el bosque plantado. En cuanto a pastos se aprecia una disminución del 3% lo cual puede estar directamente relacionado con el incremento en los bosques donde le gana espacio y cambia el uso de suelo en esa zona. Las áreas deforestadas no están mayormente sobre los borde de los Ríos sino sobre áreas boscosas en las zonas amortiguadoras de la cuenca del Río y en las zonas intermedias.

**Palabras Clave:** Análisis multitemporal, Análisis de coberturas, Imágenes satelitales, Reforestación.

## ABSTRACT

A study of coverage changes in land use in the city of Popayan through a multi-temporal analysis in the area of influence of the Forestry program as an alternative to production in the marginal area of the basin of the Magdalena River which includes the municipalities was conducted Popayan, Timbío, Tambo and Sotará, within which crops as part of the activities of the program established in different types of landscape tools were made. Within this study area forest cover it was quantified using as input information from the 2003 and 2016 periods provided by EARTH EXPLORER; ArcGIS program using a supervised classification of the different coverages present in the study area so that would make the Multitemporal analysis thereof was performed. The analysis showed that for the period 2003 to 2016, areas of forest area increased going from 37% to 40% respectively, the new area is mainly observed on the edges of rivers and streams that on forested inland areas where no significant increases were observed. Forest plantations have decreased 1% which is likely considering the rotation and timber logging which is subjected to the planted forest. As for pasture a decrease of 3% which can be directly related to the increase in forests where wins space and land use change in that area can be seen. Deforested areas are not mostly on the edge of the Rivers but on forested areas in the buffer zones of River basin and in the intermediate zones.

**Keywords:** multitemporal analysis, coverage analysis, satellite imagery, reforestation.

## INTRODUCCIÓN

Colombia es considerada como uno de los 12 países “megadiversos” del mundo, condición que se ve reflejada en la amplia variedad de ecosistemas representados en el territorio colombiano (Romero, *et al*, 2008). Cerca de 60,7 millones de hectáreas (53%), están cubiertas por bosques naturales y alrededor de tres millones de hectáreas son aptas para reforestación, siendo factible el establecimiento de una amplia gama de especies forestales, que aunadas a las ventajas climáticas y calidad de suelos, tardan la mitad del tiempo para crecer y ser productivas de lo que tardarían en otros países (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR, 2013).

Sin embargo, en los últimos años se ha perdido un gran número de hectáreas de bosque, según los datos de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), entre 1990 y 2000 la tasa de deforestación fue de 1,905 km<sup>2</sup> por año, en este periodo de tiempo se perdió cerca de 5,4 millones de hectáreas (Ruiz, *et al*, 2011).

Para el 2014, a nivel nacional se identifica un total de 140.356 hectáreas (ha) deforestadas, aumentando un 16% la tasa de deforestación, con relación al año 2013 (120.934 ha), concentradas principalmente en las regiones de la Amazonia, con el 45% y la región Andina, con el 24% del total nacional (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, IDEAM, 2014).

Para mitigar el impacto de la deforestación, se han desarrollado varios planes de restauración y rehabilitación ecológica, para lo cual se han articulado organismos privados, autoridades ambientales y entidades gubernamentales, enfocando sus acciones a la compensación por pérdida de biodiversidad, productividad y servicios de los ecosistemas.

La Federación Nacional de Cafeteros-FNC con el apoyo del Gobierno de Alemania a través del banco *Kreditanstalt Für Wiederaufbau – KFW Bankengruppe*, asume la ejecución del programa ***Silvicultura como alternativa de producción en la zona marginal de la cuenca del río Magdalena***, mediante el cual busca generar una masa forestal que recupere tierras degradadas y a su vez proporcione servicios ambientales y eventualmente, un suministro de madera para fines comerciales, apoyando a los pequeños agricultores del área rural de los municipios de Popayán, Timbío, Tambo y Sotará, en el departamento del Cauca (Federación Nacional de Cafeteros, FNC, (s.f.)).

El principal objetivo del programa incurre en procesos de restauración y rehabilitación a través de actividades de reforestación y conservación de masas boscosas, usando herramientas paisajísticas con especies arbóreas nativas y

especies forestales introducidas, las cuales son implementadas dentro de los predios de los beneficiarios del programa. Estos procesos no dejan de ser complejos, integrales y cuyos objetivos se logran a mediano y largo plazo, y su propósito va más allá de la simple revegetación o reforestación de áreas mediante plantaciones de especies arbóreas.

Para identificar los avances y medir el impacto de las actividades de restauración y rehabilitación del programa, se debe evaluar la cobertura vegetal en una línea de tiempo que exponga los cambios de uso de suelo que se han presentado sobre el área de estudio. La utilización de información satelital permite evaluar la velocidad de la deforestación/reforestación, determinando su extensión geográfica y dando indicios de sus posibles causas, detectando cambios entre diferentes fechas de referencia para poder interpretar la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio (Ruiz, *ét al*, 2013).

Con este fin, se llevó a cabo el análisis multitemporal usando imágenes satelitales del área de estudio, para identificar las nuevas características de la cobertura vegetal y construir mapas locales detallados en donde se plasmen los resultados obtenidos.

## 1. ÁREA PROBLEMÁTICA

Para alcanzar los objetivos del programa Silvicultura como alternativa de producción en la zona marginal de la cuenca del río Magdalena, la Federación Nacional de Cafeteros y el Banco Alemán KFW se vale del mecanismo financiero Certificado de Incentivo Forestal, CIF, el cual reconoce los beneficios y externalidades ambientales de los procesos de restauración y rehabilitación ecológica en suelos sin cobertura vegetal y con aptitud forestal, fomentando la reforestación en núcleos con el fin de maximizar los impactos ambientales y socioeconómicos para lograr recuperar la calidad del medio ambiente y la regulación de agua (FNC, (s,f)).

Durante el desarrollo del programa se brinda asistencia técnica permanente a los beneficiarios a través de visitas continuas a sus predios, verificando el normal desarrollo de las actividades de reforestación. La información recolectada en campo es administrada y controlada en un Sistema de Información Geográfica, el cual almacena datos que identifican al reforestador, su finca y tipo de plantación, con la ubicación exacta de las áreas plantadas utilizando tecnología de georreferenciación (GPS).

La información recolectada en campo debe ser procesada a través de herramientas geoinformáticas que permitan monitorear y evaluar los beneficios ambientales de las medidas (agro) forestales, buscando indicios de reestructuración del uso de la tierra en las zonas cafeteras y de cambios en la cobertura terrestre que indiquen restauración del suelo y sus componentes.

Sin embargo y a pesar de su importancia, la información no es utilizada para los fines que se pretende, por lo que no ha sido posible obtener un producto que describa las nuevas características de la cobertura vegetal después de realizados los procesos de restauración y rehabilitación y su impacto en el área de influencia del proyecto, y por ende, no ha sido posible identificar los avances y posibles alcances del programa.

### 1.1. DELIMITACIÓN

En el marco del Programa, la Federación Nacional de Cafeteros interviene el área rural de cuatro municipios del Cauca: Timbío, Sotará, El Tambo y Popayán (ver Tabla 1), los cuales hacen parte de la zona de influencia de la Cuenca del Río Magdalena, siendo el municipio de Popayán (ver Ilustración 1), el que se tendrá en cuenta para efectos del estudio.

**Tabla 1.** Área reforestada en los municipios del departamento del Cauca.

PROGRAMA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS REGIONAL CAUCA		
MUNICIPIO	ÁREA (HAS)	PORCENTAJE (%)
Popayán	812	26%
El Tambo	1.429	45%
Sotará	264.5	8%
Timbio	670	21%
	3175.5	100%

Fuente: Los Autores.

**Ilustración 1.** Localización del municipio de Popayán

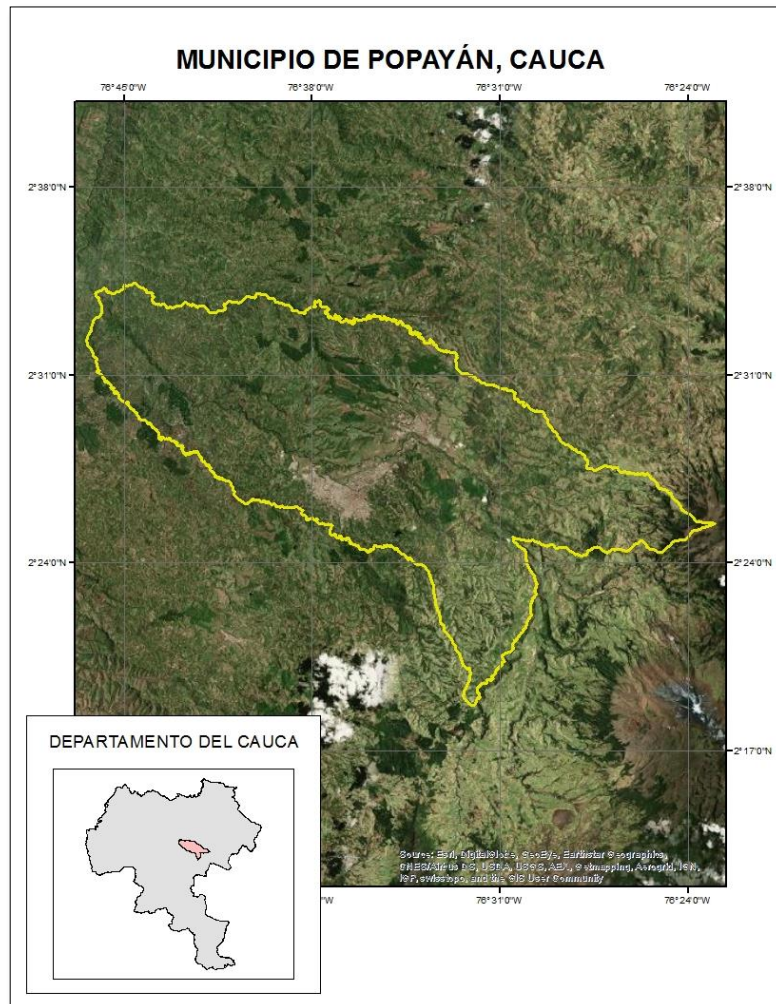


Fuente: Los autores

## 1.2 LOCALIZACIÓN

Popayán es la capital del departamento del Cauca y se encuentra localizado a  $76^{\circ}34'53,27''\text{W}$   $2^{\circ}28'55,847''\text{N}$  en el Valle de Pubenza, entre la Cordillera Occidental y Central al suroccidente del país (ver Ilustración 2), cuenta con una extensión territorial de 51.200 hectáreas, de las cuales 2.821 hectáreas corresponden a suelo urbano, representando cerca del 5% de la extensión total del municipio, y el 95% restante corresponde a suelos de carácter rural por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales y de explotación de recursos naturales (ver Tabla 2). El suelo rural corresponde a aquel suelo dentro del cual se emplazan asentamientos humanos dispersos o caseríos que actúan como focos de servicios comerciales, institucionales, de salud, educación, recreación y de transporte. (Plan de ordenamiento territorial del Municipio de Popayán, POT, 2013)

**Ilustración 2.** Vista general de la ubicación del municipio de Popayán



Fuente: Los Autores.

**Tabla 2.** Uso de suelo en el Municipio de Popayán.

<b>USO DE SUELO MUNICIPIO DE POPAYÁN</b>		
<b>Uso</b>	<b>Extensión (Has)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Urbano	2821	5%
Rural	48379	95%
	51200	100%

Fuente: POT, 2013

En el POT se hace énfasis en el correcto desarrollo y ocupación del área rural, mediante la inclusión de la reglamentación general de la aptitud y uso potencial del suelo, teniendo en cuenta los siguientes lineamientos:

- Conservar los recursos naturales y proteger el medio ambiente del área rural del Municipio de Popayán.
- Restablecer y/o mantener un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de los recursos naturales de la zona plana y de las cuencas hidrográficas del Municipio de Popayán y la preservación de la estructura físico -biótico de las mismas, particularmente de los recursos hídricos.
- Recuperar el espacio natural degradado y conservar el ambiente natural y construido de valor patrimonial para el Municipio según su riqueza paisajística y arquitectónica.
- Evitar el deterioro y el desequilibrio del medio ecológico del área rural y dar pautas para el desarrollo y la ocupación ordenada y racional de la misma.
- Propiciar la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectar el mantenimiento y disfrute de un ambiente sano.

Sin embargo, los suelos del municipio de Popayán son subutilizados (ver Ilustración 3), es decir, que no se les da el uso adecuado según su vocación, ya que el uso dominante corresponde a un nivel de intensidad inferior, si se compara con la capacidad de usos sugerida según sus características agrologicas, sus condiciones de suelo y su índice de sitio (IGAC, 2003)



**Ilustración 3.** Clasificación de conflicto del uso de suelos del municipio de Popayán año 2003.



Fuente: Los Autores con datos del IGAC

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Estimar la recuperación de áreas degradadas y cambio de uso de suelo en el municipio de Popayán en el marco del programa “*silvicultura como alternativa de producción en la zona marginal de la cuenca del río Magdalena*”, mediante el análisis multitemporal de la cobertura vegetal de los años 2003 y 2016.

### **1.2. OBJETIVO ESPECIFICO**

- Generar la cartografía base de los avances del proyecto en el municipio de Popayán, la cual contenga la ubicación espacial de las herramientas paisajísticas establecidas por el programa.
- Articular la información existente de usuarios, predios, herramientas paisajísticas y actividades silviculturales desarrolladas en el proyecto.
- Resaltar la importancia del uso de la teledetección y de las herramientas de sistemas de información geográfica, en la cuantificación de cobertura boscosa y por ende, en la toma de decisiones.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El fenómeno de deforestación ha venido en aumento en la última década, producto principalmente de la intervención antrópica que viene inmersa en los procesos de desarrollo socioeconómico del país.

Algunos reportes indican que la región andina de la cual hace parte el departamento del Cauca, ha perdido cerca de 33.679 hectáreas de bosque, que corresponden al 24% total nacional del área deforestada, siendo sus principales causas la minería ilegal, la expansión de límites agropecuarios, la tala ilegal y por último, aunque no menos importante, los incendios forestales. Esto no solo ha desencadenado en la pérdida de más de la mitad de las especies de árboles, sino también, de la biodiversidad de nuestros ecosistemas causando daños irreparables (IDEAM, 2014).

Por esta razón se entiende que la restauración es una estrategia práctica e integral de manejo que intenta restablecer los procesos ecológicos para mantener la composición, estructura y función del ecosistema en diferentes unidades de paisaje y a distintas escalas, mediante el desarrollo de estrategias participativas (MADR, 2013).

El programa ***Silvicultura como alternativa de producción en la zona marginal de la cuenca del Río Magdalena*** es un proyecto con alto impacto ambiental y social en la región del Cauca. La reforestación de cerca de 800 hectáreas en más de 400 predios es la principal herramienta para la restauración de la cobertura vegetal, suministrando permanentemente información que al ser procesada puede usarse para identificar cambios en el uso de suelo en las áreas de influencia, y por tanto, los avances de los procesos de recuperación vegetal.

Estos resultados pueden ser útiles para la planificación de las actividades que se desarrollan actualmente dentro del programa, y para orientar otras tareas que complementen su objetivo principal, dando dinamismo al proyecto.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. GENERALIDADES

Colombia cuenta con una extensión continental de 114 millones de hectáreas, de las cuales cerca de 60,7 millones están cubiertos por bosques naturales. Se estimó que el país cuenta con 17 millones de hectáreas aptas para reforestación distribuidas en varios pisos altitudinales donde es factible el establecimiento de una amplia gama de especies forestales comerciales entre las que se encuentran las plantadas a escala industrial en el mundo : *Pinus* (*pátula*, *caribea*, *tecunumanii*, *oocarpa*) y *Eucalyptus* (*grandis*, *pellita*, *tereticornis*), así como especies que poseen madera de gran valor como la de Teca (*Tectona grandis*), *Acacia mangium*, Nogal (*Cordia alliodora*), Aliso (*Alnus jorullensis*), Melina (*Gmelina arbórea*) o para especiales aplicaciones arquitectónicas y estructurales en la construcción como la Guadua (*Guadua angustifolia*), y que aunadas a las ventajas climáticas y calidad de suelos, tardan la mitad del tiempo para crecer y ser productivas, de lo que tardarían en otros países (MADR, 2013).

Estudios afirman que de estos 17 millones, 5,1 son tierras sin restricciones, es decir que no requieren ningún tipo de adecuaciones de suelos para el cultivo y desarrollo de proyectos forestales y 12,1 millones tienen restricciones menores; sin embargo, solo 2,06% está siendo usado, lo equivale a 350.000 hectáreas de bosques plantados (Proexport, 2012).

#### 3.2. REFORESTACIÓN EN COLOMBIA

Desde 1988, cuando a través del Plan de Acción Forestal para Colombia, PAFC, se hizo la evaluación de la experiencia colombiana sobre reforestación, el área cubierta por plantaciones forestales no había tenido un incremento significativo (Berrio *et al*, s.f.). Sin embargo, con el fin contrarrestar la pérdida de bosque, se han venido implementado varias estrategias políticas de financiación, apoyo, promoción y seguimiento para la gestión ambiental, el desarrollo sostenible a través de programas y proyectos de recuperación, conservación, protección, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos renovables y del medio ambiente.

Uno de los más importantes es la financiación del programa de "Conservación, Restauración y Manejo Sostenible de Ecosistemas Forestales en Cuencas Hidrográficas", en el cual se busca asegurar la renovación y disponibilidad del recurso hídrico para el consumo humano y las actividades productivas, a través de la financiación de proyectos para el establecimiento de plantaciones protectoras-productoras, cercas vivas, sistemas agroforestales y enriquecimiento de bosques

naturales, cumpliendo la función de rehabilitar los ecosistemas forestales degradados y recuperar la conectividad estructural y funcional del paisaje para el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes y el mantenimiento de poblaciones viables de flora y fauna nativa (IDEAM, 2015).

El Plan Nacional de acción para la reforestación comercial, señala que durante el 2011, se estableció una meta de contar en el 2014 con 600.000 hectáreas reforestadas correspondientes a plantaciones comerciales y 400.000 hectáreas de carácter protector, lo que implicaría un crecimiento de 71,43% con respecto a las hectáreas cultivadas actualmente (Proexport, 2012). Una meta ambiciosa, pero con altas posibilidades de ejecución si se tiene en cuenta que Colombia es un país con un gran potencial para el desarrollo de programas de reforestación comercial, favorecida por su estratégica posición geográfica que brinda una cercana conexión a los principales centros de consumo de productos forestales (MADR, 2011).

Para que dicha ventaja sea aprovechada, el país cuenta hoy con una serie de incentivos para la reforestación comercial entre los cuales se encuentra la exención del impuesto de la renta al aprovechamiento de nuevas plantaciones forestales, fondos de inversión forestal, crédito agropecuario y el Certificado de Incentivo Forestal (CIF).

Con el CIF y otras fuentes de financiación, se consiguió plantar 273.640 nuevas hectáreas entre los años 2006 y 2010, lo que no solo ha generado el crecimiento de la cobertura vegetal que contribuye a la mitigación de los daños ambientales causados por la deforestación, sino además, aporta a la cadena productiva del sector forestal generando cerca de 90.000 empleos directos incluyendo entre estos a los no formales de las microempresas de muebles, comercialización y productos (MADR, 2011).

### **3.3. CERTIFICADO DE INCENTIVO FORESTAL – CIF**

El CIF es un reconocimiento del Estado a las externalidades positivas de la reforestación, en tanto los beneficios ambientales y sociales generados son apropiables por el conjunto de la población, cuyo objeto es promover la realización de inversiones directas en nuevas plantaciones forestales de carácter protector - productor en terrenos de aptitud forestal (Congreso de la república de Colombia, Ley 139 de 1994).

El CIF entrega un apoyo financiero en efectivo en retribución a la inversión en costos se siembra de plantaciones forestales con fines productores-protectores a los que haya lugar en terrenos de aptitud forestal. El incentivo se otorga al establecimiento de especies nativas e introducidas (50% de los costos), mantenimiento de plantaciones (50% de los costos) y mantenimiento de áreas de bosque natural que

se encuentren dentro de un plan de establecimiento y manejo forestal (75% de los costos).

### **3.4. SILVICULTURA COMO ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN EN LA ZONA MARGINAL DE LA CUENCA DEL RIO MAGDALENA**

La finalidad de este programa es un aporte directo a la reforestación mediante el mecanismo de incentivos forestales e inversión en el campo. Su principal objetivo es el apoyo a las actividades para la disminución de la erosión del suelo y contribución al equilibrio hidrológico de la Cuenca del Rio Magdalena, con el fomento de medidas forestales dentro de las zonas marginales del área de influencia (FNC, (s.f.)).

El programa otorga el incentivo forestal con el fin de fomentar la agrobiodiversidad y conectividad biológica, reconociendo un incentivo de mayor valor por causa del propósito de conservación. Las medidas son:

- Conservación de bosque natural
- Enriquecimiento de bosque degradado
- Plantaciones forestales
- Sistemas agroforestales con café

Si bien, el gobierno otorga el CIF por medio de otros entes, tiene como requisito indiscutible el acompañamiento técnico por un profesional idóneo. Teniendo en cuenta lo anterior, el éxito del programa radica en la importancia que tiene para los agricultores la asistencia técnica brindada por la FNC. Esto le brinda un valor agregado al programa, ya que esta asesoría no solo se brinda durante los 5 años en los que se otorga el CIF, sino durante todo el turno de la plantación lo cual es posible por la permanencia de la Federación en el tiempo (FNC, (s.f.)).

La FNC también brinda asesoría a aquellos usuarios que pretenden avanzar de la etapa de siembra y manejo de árboles a la etapa de transformación y comercialización de madera, sensibilizando y organizando a los agricultores para la creación de Sociedades Agrarias de Transformación.

### **3.5. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

El medio ambiente se encuentra en constante dinámica, produciendo información de sus componentes, y de su relación con las poblaciones aledañas, las cuales hacen uso de sus bienes y servicios. En el país existen organizaciones ambientales que capturan esta información con el objetivo de almacenarla, manejarla y procesarla, lo que permite al usuario aprovecharla para crear estrategias para su respectiva gestión.

Cuando se hace referencia a la información geográfica se sabe que siempre estará representada por un dato que ocupa un espacio cartográfico y representa una localización específica de acuerdo a un sistema geográfico de referencia o dirección, el cual describe propiedades de un objeto o fenómeno, de manera que permite inferir sus causas y posibles consecuencias, a partir de la interpretación de patrones y/o variación de los datos (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, 2014).

En Colombia, se utilizan estos métodos y herramientas especialmente, con el propósito de analizar la información que se obtiene a través de estas tecnologías, para poder definir el uso actual de los suelos y así implementar políticas para su uso potencial, teniendo como prioridad la conservación y la restauración.

### **3.6. GEORREFERENCIACIÓN ESPACIAL**

La georreferenciación está definida como el proceso a través del cual se define el posicionamiento de un objeto cualquiera sobre la superficie terrestre, de acuerdo a su localización en un sistema de referencia. Las coordenadas de dicha posición son sistemas de medición compuesto por Latitud y longitud. (Sastre, 2008).

Colombia cuenta con su propio modelo de coordenadas y georreferenciación llamado MAGNA-SIRGAS, el cual garantiza la compatibilidad de las coordenadas colombianas con las técnicas espaciales de posicionamiento. SIRGAS, es la extensión del ITRF, y debe ser densificado para satisfacer los requerimientos en precisión de los usuarios de información georreferenciada en los diferentes países (IGAC, 2004).

### **3.7. SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA**

El concepto relacionado a un Sistema de Información Geográfica habla de una interacción y un proceso organizado donde influyen hardware, software, datos geográficos y personal idóneo, diseñada para capturar, almacenar, manejar, analizar, modelar y representar de forma concreta la información geográficamente referenciada con el fin de brindar herramientas para la correcta planificación y gestión, construyendo estrategias que permitan modelar descriptiva y predictivamente la evolución temporal y espacial de los elementos del ambiente. (Sastre, 2008).

La integralidad que manejan los SIG hace que sea la herramienta más adecuada para el procesamiento, la gestión de resultados y elementos producidos por otras tecnologías, las cuales se centran en el aprovechamiento de la información espacial y están conectadas en mayor o menor medida a un SIG (Olaya, 2011).

### 3.8. TELEDETECCIÓN

La teledetección (o percepción remota) es una técnica mediante la cual se pueden obtener imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en vehículos de navegación aérea, en la que intervienen componentes como la energía, los elementos de la superficie terrestre y de la atmósfera, los sistemas sensores y finalmente, los sistemas de recepción de la información (Ardila, 2013). El principio fundamental de la percepción remota engloba el posterior tratamiento de las imágenes, en el contexto de una determinada aplicación con el fin de obtener información que ayude a resolver interrogantes, y plantear métodos predictivos y preventivos para cualquier problemática (Chuvieco, 1995).

#### 3.8.1. Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales multitemporales son la representación visual de la información capturada por un sensor de un satélite artificial, y son de mucha utilidad para la identificación y monitoreo de los elementos del medio ambiente y su dinámica ecosistémica. Las imágenes se han convertido en una herramienta ventajosa para la evaluación y el seguimiento de cualquier elemento sobre la superficie terrestre y de su comportamiento en lapsos determinados de tiempo, infiriendo los factores determinantes en los cambios que se presenten en la cobertura terrestre.

- **Imágenes Landsat:** son imágenes que están compuestas por 7 bandas multiespectrales que van desde niveles visibles hasta el infrarrojo medio, con una resolución de 30 metros, en la mayoría de ellas. Las principales aplicaciones de estas imágenes se centran en la identificación y clasificación de las distintas cubiertas que existen en la superficie terrestre, determinación de humedad del suelo, clasificación de la vegetación, mapas hidrotermales y estudios multitemporales (Soluciones Integrales en Geomática, 2016).

A las imágenes del satélite *Landsat 8* se incorporan dos nuevas bandas espectrales: un canal profundo en el azul visible (banda 1), diseñado específicamente para los recursos hídricos e investigación en zonas costeras, y un nuevo canal infrarrojo (banda 9) para la detección de nubes cirrus. Adicionalmente una nueva banda de control de calidad se incluye con cada producto de datos generado (ver Tabla 3). La descripción detallada de las características que proporciona información más detallada sobre la presencia de características como las nubosidad, agua y nieve (IGAC, 2013)

**Tabla 3.** Características de las imágenes Landsat 8



Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)  February 11, 2013	Bandas	longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
	Banda 1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
	Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
	Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
	Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
	Banda 5 - Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
	Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	*Banda 10 - Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
*Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100	

Fuente: COLOMBIA. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC.

### 3.8.2. Análisis multitemporal

La metodología de análisis multitemporal, es una técnica de análisis que permite obtener conclusiones con relación a las transformaciones espaciales de una región. Al realizar el procesamiento multitemporal de imágenes satelitales, se debe obtener una serie de datos que estén referenciados de acuerdo a la fecha de su origen, y que finalmente tienen que convertirse en un conjunto único de datos (Mehl y Peinado, 1997).

El objetivo principal de los estudios multitemporales es detectar cambios en la cobertura entre dos fechas de referencia, evidenciando la marcada repercusión de la acción humana sobre los recursos naturales (Trejos, 2008)

### 3.9. ANTECEDENTES

En cuanto a cobertura de bosque natural se refiere, Colombia cuenta con dos grandes regiones naturales que están cubiertas casi totalmente, la más extensa en área y cobertura boscosa es la región de la amazonia con 48'311.900 Has, seguida de la región del Pacífico con 8'317.000 Has (Cabrera *et al*, 2011)

Sin embargo, esta cobertura ha ido disminuyendo significativamente debido al cambio de uso de suelo, que no siempre es el resultado de un proceso de uso eficiente de recursos, causando daños irreversibles al medio ambiente. A pesar de la importancia de los ecosistemas naturales por los bienes y servicios que de ellos obtenemos, siguen siendo afectados debido principalmente al uso no sostenible de los recursos, perdiendo la capacidad de regulación del clima, regulación de fuentes hídricas y de la dinámica ecosistémica (García, 2014).

Por todo esto, es de vital importancia aplicar medidas urgentes y eficaces en las zonas más vulnerables, en donde el principal factor de degradación es antrópico.

Estas estrategias deben adoptarse con el fin de garantizar el mantenimiento de la biodiversidad biológica y cultural, incrementando el área reforestada en el territorio nacional.

A continuación se hace un breve resumen de algunos casos de estudio, en los que el análisis multitemporal ha demostrado ser una herramienta importante y eficaz para la obtención de productos cartográficos con información relevante sobre el cambio de uso de suelo, evidenciando la importancia del análisis de la información satelital geográficamente referenciada para identificar las áreas más afectadas y las posibles causas de estos fenómenos.

### **3.9.1. Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011.**

En el estudio se presentan los resultados de la aplicación de la teledetección y de herramientas SIG para evaluar el cambio de uso de suelo, identificando anomalías entre diferentes fechas de referencia, y de esta forma, identificar las principales causas y el grado de fragmentación del paisaje del área de estudio. Para el análisis se procesaron tres imágenes *Landsat TM*, con resolución espacial de 30 metros, correspondientes a los años 1993, 2000 y 2011, las cuales fueron clasificadas tomando como referencia las áreas representativas de cada una de las coberturas del suelo, y el valor espectral que representaban. Esta clasificación de tipo supervisada permitió la identificación de píxeles similares de otras áreas, lo cual fue corroborado con trabajos de campo en diferentes puntos ubicados al azar en el área de estudio. La cuantificación del cambio de uso de suelo, se realizó teniendo como base la clasificación de uso de suelo del Ministerio Agropecuario y Forestal, y utilizando ecuaciones de cuantificación de tasa de cambio anual, y métricas e índices de fragmentación del paisaje. El estudio evidenció el cambio en las coberturas de suelos de los diferentes paisajes correspondientes a BLD: Bosque latifoliado denso, BM: Bosque Mixto, BLR: Bosque latifoliado ralo, PAD: Pasto/árboles dispersos, P: Pastizales, T: Tacotal, C: Cultivo. El mayor cambio entre el periodo de 1993 y 2000, se dio con el aumento de 6.709 has en PAD, mientras que en el periodo entre 2000 y 2011, el mayor cambio se observó en el área de P, mostrando una disminución de aproximadamente 3.534 has. En general las tasas de cambio (TAC) en el periodo evaluado fueron de 28.17 hectáreas en aumento y 22.42 hectáreas en disminución. Los índices de fragmentación indican un paisaje fragmentado que conlleva a una disminución de la superficie de hábitats naturales. Si bien los tacotales ocupan la mayor superficie del área total (26.12 %), presentan también la mayor cantidad de parches, seguidamente bosques ralos y pastos con árboles dispersos. Lo anterior se debe principalmente a la fuerte presión, como producto de factores antropogénicos, dejando parches (o islas) separados del bosque y entre sí (Murcia 1995).

**3.9.2. Análisis multitemporal de la cobertura del suelo utilizando metodologías VCS y Corine Land Cover caso de estudio.** Este estudio demuestra la potencialidad de identificar mediante procesos de análisis de imágenes satelitales correspondientes a los años 1991, 2003 y 2015, zonas con características y vocaciones de carácter protector para ser utilizadas en proyectos ambientales (REDD) dentro del área de estudio (Finca El Guayabo y Finca Santa Ana de los Caballeros), además de la utilización de softwares libres y comerciales obteniendo indistintamente resultados aceptables.

Para el procesamiento de las imágenes satelitales, los autores del estudio utilizaron el software libre SAGA GIS, el cual usa modelos de elevación digital para efectos de la corrección topográfica. Seguidamente a las imágenes satelitales se les realizó la clasificación no supervisada usando como base la metodología Corine Land Cover; y la clasificación supervisada teniendo como base la información recolectada en campo del área de estudio, generando la cartografía temática de estas áreas y la región de referencia. Los datos muestran que hay una fluctuación en el cambio de uso de suelo: en la finca El Guayabo hubo disminución de los bosques fragmentados en el periodo de 1991 – 2003 y un aumento considerable entre el 2003 y 2015, y a pesar de que la cobertura boscosa en la finca Santa Ana de los Caballeros tuvo el mismo comportamiento, el área total es mucho menor que la de la finca El Guayabo. La vegetación secundaria aumenta su área en el primer periodo de análisis mientras que entre el 2003 -l 2015 disminuye abruptamente en los dos pedios, todos estos cambios acompañados del aumento acelerado del área en coberturas de pastos durante el periodo analizado (1991 – 2015). Con base en las coberturas obtenidas anteriormente, los autores calcularon el Stock de carbono empleando metodologías de modelación de regresión. De acuerdo a las estimaciones la finca Santa Ana de los Caballeros, se toma como no apta para proyecto REDD, ya que el porcentaje de área en bosque es bajo y la variación de otras coberturas ha sido preponderante y su reserva de carbono es menor a la de la Finca El Guayabo siendo esta última apta para dicho proyecto dado su alto porcentaje de bosques y su variación mínima.

**3.9.3. Estudio multitemporal de imágenes satelitales con fines de delimitación del complejo Bajo San Jorge margen izquierdo (B13) y diagnóstico de zonas intervenidas antropicamente (agricultura y minería).** Los autores establecen la importancia de la teledetección conjuntamente con los sistemas de información geográfica, como herramientas para la delimitación y caracterización espacial de los diferentes elementos funcionales de un ecosistema natural, permitiendo el análisis de las causas y consecuencias de la intervención antrópica que altera principalmente el régimen natural de las fuentes hídricas. También

hacen énfasis en la importancia de los sistemas de información geográfica para el almacenamiento y manipulación de la información referenciada del área de estudio. Para llevar a cabo el análisis los autores procesaron las imágenes buscando su óptima interpretación lo cual permitió el cálculo de las áreas correspondientes a cuerpos de agua y la obtención de los límites de zona de protección, todo lo anterior acompañado de visitas de campo al área de estudio. En la generación de mapas se incluyen las coberturas del suelo del complejo B13; la dinámica hídrica y las coberturas de suelos de protección para una superficie total de 19.240,73 distribuidas así: cuerpos de agua (28,30%), cultivos (5,30%), suelos desnudos (1,38%), rastrojos (49,55%), pastos (9,27%), y el restante 5,05% corresponde a aguas en movimiento. Del área total de superficie el 4,06% corresponde a zonas de protección.

#### **3.9.4. Análisis multitemporal aplicando imágenes satélite para la cuantificación de los cambios de uso de la tierra y cobertura en Bosawas-Raan y en los departamentos de Rivas, Carazo y Granada.**

El objetivo del proyecto, es el análisis de la cobertura vegetal a través del tiempo, usando herramientas geomaticas orientadas al establecimiento y definición de líneas base para la evaluación y monitoreo de las áreas donde se interviene mediante actividades de protección, determinando la dinámica del cambio en la cobertura boscosa (pérdida o ganancia). Para esto, los autores iniciaron con la recopilación de la información dentro de la cual se incluyen las imágenes satélites, ortofotos, mapas topográficos en formato raster y la cartográfica base y temática en formato vectorial, siendo sometida a un proceso de análisis, clasificación, depuración y estandarización. Posteriormente se realizó una clasificación no supervisada, definiendo 100 clases con 20 iteraciones para cada imagen, apoyándose en la experiencia adquirida, apoyada con giras de campo y los respectivos datos que fueron colectados, identificando finalmente 15 coberturas clasificadas en 5 categorías. Las imágenes satelitales procesadas corresponden a los años 1987, 1999 y 2005 generando información referente a ganancias y pérdidas de bosque húmedo tropical en el área de estudio. De las 2.764,220 Has de bosque que existían en el año 1987, el 88.8% se mantuvo sin cambio y el 11.2% paso a otros usos como guamil, tacotal o arbustivo, zonas agropecuarias o sufrió afectaciones por quemas y anegación por cuerpos de agua o humedales. Mientras que en el periodo entre 1999 y 2005 se presentó una recuperación del bosque en 100,513 Has, que representan un 3.9% de total de bosque presente en el año 1999. La información analizada, permitió obtener productos cartográficos que facilitarían la identificación y localización de los sitios potenciales para producción de café y cacao, además de las zonas en las que la vegetación boscosa ha cambiado a rastrojos.

### **3.9.5. Análisis multitemporal de los cambios de la cobertura boscosa en la Zona Pacífico, norte del departamento del Chocó, 1990 – 2014.**

En este estudio se aprecian claramente, los resultados del análisis multitemporal del proceso de deforestación y degradación del área de influencia, en el departamento del Chocó, de las cuencas hidrográficas que drenan sus aguas al Océano Pacífico, mostrando resultados concisos sobre los puntos que han sufrido más impacto en el cambio de uso de suelo. Para el desarrollo de este estudio se utilizó información de deforestación de los periodos de 1990, 2000, 2005, 2010 y 2012 suministrados por el IDEAM para toda Colombia; y para el periodo de 2014 se realizó la interpretación digital con Imágenes del Sensor RapidEye del 2014. Para la cuantificación y análisis de la cobertura boscosa mediante la interpretación digital, se creó una leyenda de coberturas utilizando la metodología Corine Land Cover, seguidamente se realizó la clasificación supervisada tomando como base la identificación de zonas o sectores donde se conoce con certeza el tipo de vegetación o unidad existente, con el fin de propiciar la búsqueda de píxeles y valores espectrales similares que finalmente arrojen información que al ser transformada para generar mapas, tenga claridad y veracidad. El estudio concluye que en el periodo entre 1990 y 2005, se proyectó una tendencia de disminución en la cobertura boscosa, mostrando el pico más crítico en el año 2000 con la pérdida 19.709,89 has, entre los años 2005 – 2012, el área boscosa aumento alrededor de 25.292,06 has, propiciado por efectos de regeneración. Finalmente entre los años 2012 – 2014, el bosque presentó una disminución alarmante con 51.864,70 has. De acuerdo al estudio, los procesos de deforestación y cambio de uso de suelo están dados por varios factores antrópicos como la explotación forestal, el uso de cultivos ilícitos y la expansión de la frontera agrícola.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. TIPO DE TRABAJO

En este proyecto se realizó una Investigación Descriptiva, en la cual se usó información confiable referente al principio fundamental del programa de la Federación Nacional de Cafeteros. Las actividades se enfocaron hacia la teledetección con base en un análisis multitemporal de imágenes satelitales a través de herramientas geoinformáticas, con el fin de identificar el impacto ambiental resultante de las actividades de reforestación.

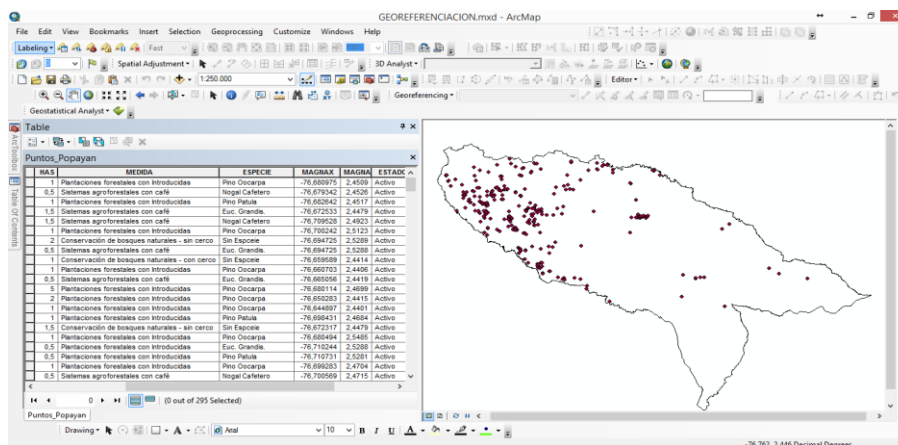
### 4.2. PROCEDIMIENTO

Para cumplir con los objetivos del proyecto de estimación y cuantificación de los cambios de uso del suelo, se analizaron las imágenes satelitales correspondientes a los años 2003 y 2016 de las coberturas vegetales del área de impacto del programa de la FNC. Para lo cual se realizaron una serie de fases que incluyen desde el manejo de la información primaria hasta la obtención de los productos finales que muestran los cambios de la cobertura en la actualidad. A continuación se explica en detalle.

#### 4.2.1. Obtención de información

Para llevar a cabo el análisis multitemporal de la cobertura vegetal dentro del municipio de Popayán se delimitaron geográficamente las áreas de influencia del programa, teniendo en cuenta la información secundaria suministrada por KFW, concretamente, la georreferenciación espacial de las herramientas paisajísticas (archivo Excel). Para efectos de este estudio, se usaron únicamente los datos de los usuarios activos en el programa en el municipio de Popayán (ver Ilustración 4).

**Ilustración 4.** Georreferenciación espacial de las herramientas paisajísticas



Fuente: Los autores

Con esta información se definió el área de estudio y se procedió a obtener las imágenes Landsat desde el portal de EARTH EXPLORER- USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos) para los años 2003 y 2016 (ver Tabla 4), utilizando los valores de path: 9 y row: 58, correspondientes al Municipio de Popayán. El área de trabajo fue seleccionada en visualizador para posteriormente proceder a la descarga.

**Tabla 4.** Características de las imágenes satelitales seleccionadas

	ENTITY ID	ACQUISITION DATE	PATH/ROW	COORDINATES
<b>2003</b>	LE70090582003306EDC01	02-NOV-03	9/58	2.89265, -76.31372
<b>2016</b>	LC80090582016238LGN00	25-AUG-16	9/58	2.89265, -76.31372

Fuente: Los autores con datos de USGS - EARTH EXPLORER

De este modo se obtuvieron dos imágenes satelitales (ver Ilustraciones 5 y 6), correspondientes al área de estudio, la cual abarca una gran parte de la extensión del municipio de Popayán, ya que los predios en donde se realizan las actividades de restauración (reforestación), se encuentran distribuidos en toda la extensión del municipio.

**Ilustración 5.** Imágenes satelitales Landsat 8 - año 2003



Fuente: Los Autores

## Ilustración 6. Imágenes satelitales Landsat 8 – año 2016



Fuente: Los Autores

### 4.2.2. Estandarización de la información secundaria

Después de observar y filtrar la información primaria y secundaria disponible, esta fue estandarizada en un proceso mediante el cual se aplicó a toda la cartografía temática, la referencia espacial del sistema geodésico moderno del marco geocéntrico nacional MAGNA SIRGAS, el cual está acorde con los estándares internacionales vigentes. Este sistema de referencia garantiza la compatibilidad de las coordenadas colombianas con las técnicas espaciales de posicionamiento.

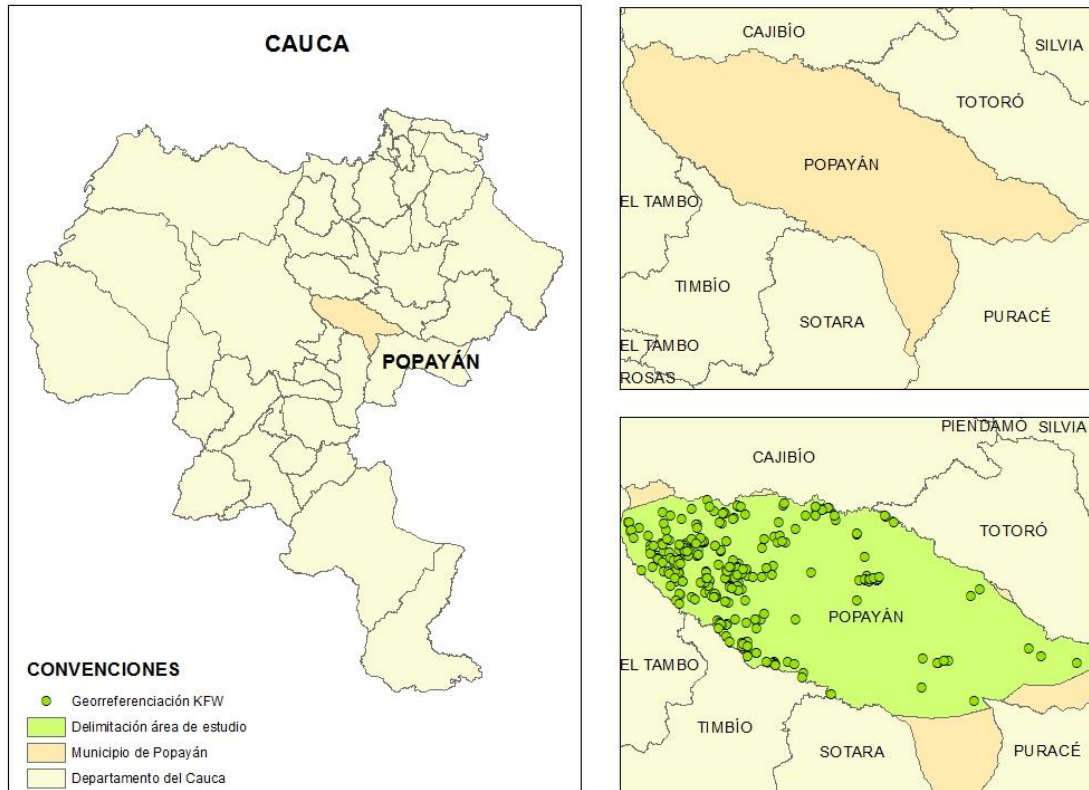
### 4.2.3. Procesamiento y análisis de la información

Inicialmente, utilizando el software ARCGIS se delimitó el área de estudio, por medio de un polígono que incluyó toda el área donde se encuentran distribuidas las herramientas del paisaje representadas por una capa de puntos (ver Ilustración 7). Con base en este polígono se realizó un recorte a los *raster* utilizando la herramienta de *Arctoolbox: Extraction* y luego *Extract By Mask*.



**Ilustración 7.** Delimitación del área de estudio con respecto a la información de georreferenciación de KFW

### DELIMITACIÓN ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Los autores

Para dar inicio al procesamiento y análisis, las imágenes fueron expuestas a transformaciones, lo cual se fundamenta en procesar los datos a partir de sus propiedades radiométricas, buscando que la información que se percibe de la imagen resultante sea más legible, apropiada y puntual con relación a la original.

Los procesos de transformación se describen a continuación:

- **Corrección geométrica**

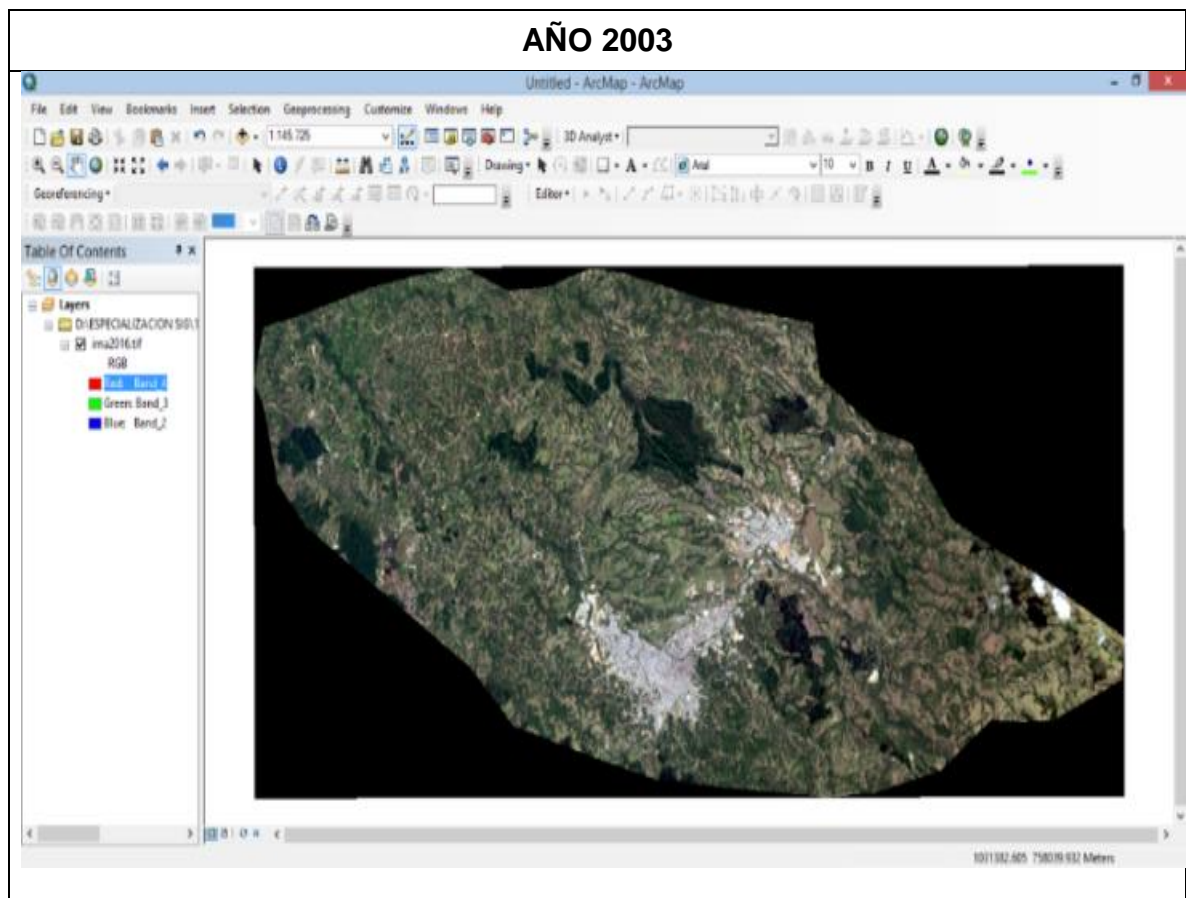
La corrección geométrica se realizó mediante la transformación matemática de las imágenes a un sistema de coordenadas reales del terreno, identificando puntos repartidos en toda la escena dentro del sistema de la imagen (píxeles) y el sistema de referencia espacial, determinando un modelo de transformación para todos los puntos del RASTER. Posteriormente se asignan los nuevos valores espectrales,

mediante el método del “vecino más cercano” para minimizar el cambio de la resolución espectral de los píxeles y evitar vacíos en la información.

- **Interpretación Digital**

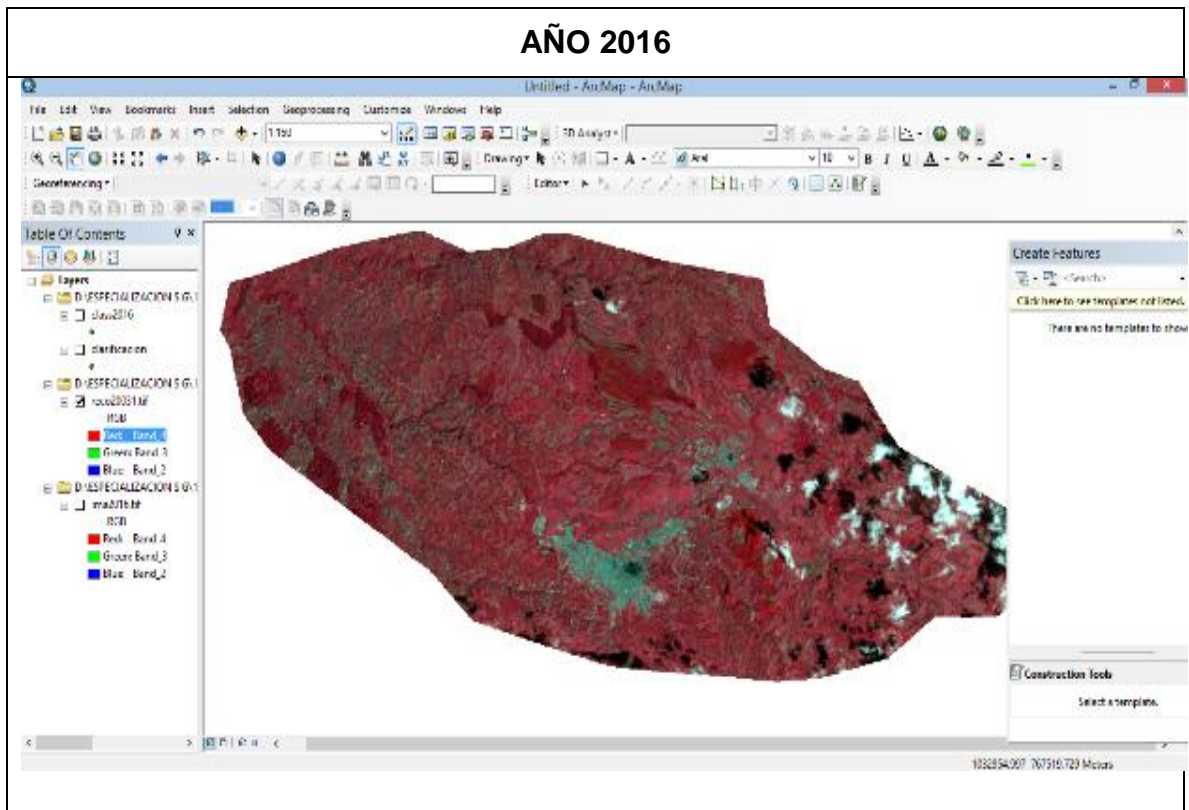
En esta fase se interpretó visualmente la imagen usando combinaciones y composiciones de color con el fin de discriminar los aspectos de las coberturas terrestres. La composición de color se generó con base en la asignación de bandas o canales no visibles al ojo humano (falso color 432) realizando de manera significativa la vegetación, debido a que la banda 4 es la máxima representación de la biomasa, permitiendo determinar su estado sucesional, además de la fácil identificación de zonas urbanas (ver Ilustraciones 8 y 9).

**Ilustración 8.** Combinación de bandas de la imagen satelital 2003.



Fuente: Los Autores

**Ilustración 9.** Combinación de bandas de la imagen satelital 2016.

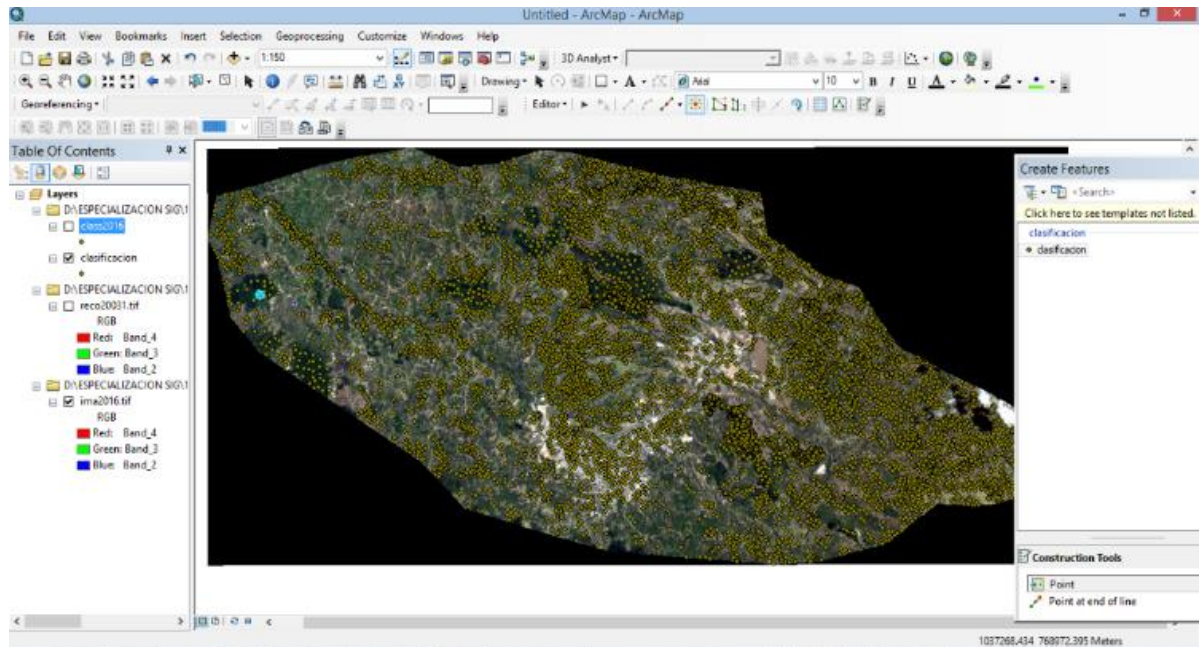


Fuente: Los autores

- **Clasificación supervisada**

Una vez definida la combinación de bandas se procedió a determinar visualmente cada una de las coberturas existentes en el área de estudio, tomando como apoyo la información referente al tipo de herramientas del paisaje establecida en los predios beneficiarios de las actividades de reforestación. Se seleccionaron áreas representativas de cada cobertura del suelo para obtener su valor espectral, clasificando píxeles representativos de los patrones de cada una de las clases definidas. Con base en las cuatro temáticas: bosque natural, bosque plantado (plantaciones forestales), pastos y zonas urbanas (ver Tabla 5), se creó una nube de puntos distribuida sobre toda la extensión de la zona de estudio (ver Ilustración 10). Lo anterior permitió muestrear los valores espectrales (firma espectral) y su comportamiento en dichas áreas, y así, crear una base con la que se pudiera identificar con mayor facilidad otras áreas con el mismo uso de suelo de acuerdo a la similitud de píxeles.

## Ilustración 10. Creación de nube de puntos



Fuentes: Los Autores

**Tabla 5.** Clasificación supervisada de coberturas

TEMATICAS IMPLEMENTADAS			
OID	ID	GRIDCODE	CLASSNAME
0	6	1	Pastos
1	61	4	Plantación Forestal
2	479	5	Bosques Naturales
3	616	3	Zona Urbana

Fuente: Los Autores

Este tipo de clasificación en donde se indica a priori cuáles serán las clases temáticas, se denomina supervisada (ERDAS, Inc. 1997). Los pasos que se siguieron fueron: (1) selección y edición: identificación de píxeles similares y representativos de las áreas de entrenamiento asignándoles a una firma espectral determinada (2) evaluación de las categorías o firmas espectrales; una vez definidas las firmas espectrales y antes de abordar el proceso de clasificación, se evaluó la viabilidad de las categorías para su clasificación. (3) Clasificación de la imagen satelital: el algoritmo de la clasificación supervisada empleado es del tipo

paramétrico. Se trabajó al 95 % de confiabilidad de la clasificación de la imagen correspondiente al año 2011, con un error de  $\pm 5$  %.

Una vez realizada la clasificación de cada cobertura definida, utilizando las herramientas de la Tabla de atributos de ArcGis, se calculó la métrica del área, la cual corresponde a la suma total de todas las áreas ( $m^2$ ) de un tipo de clase de vegetación, expresado en hectáreas (McGarigal et al 2002).

Este cálculo se realizó empleando la siguiente fórmula:

$$CA = \sum_{j=1} a_{ij}$$

Dónde: CA: área total y

$a_{ij}$  :área de cada parche correspondiente a cada clase ( $m^2$ ).

#### **4.2.4. Producción de cartografía**

Después de identificar las nuevas características físicas de las áreas de interés en donde ha habido cambio de uso de suelo, se transformó toda la información de archivos raster a vectoriales, para generar finalmente mapas temáticos para mejorar su interpretación.

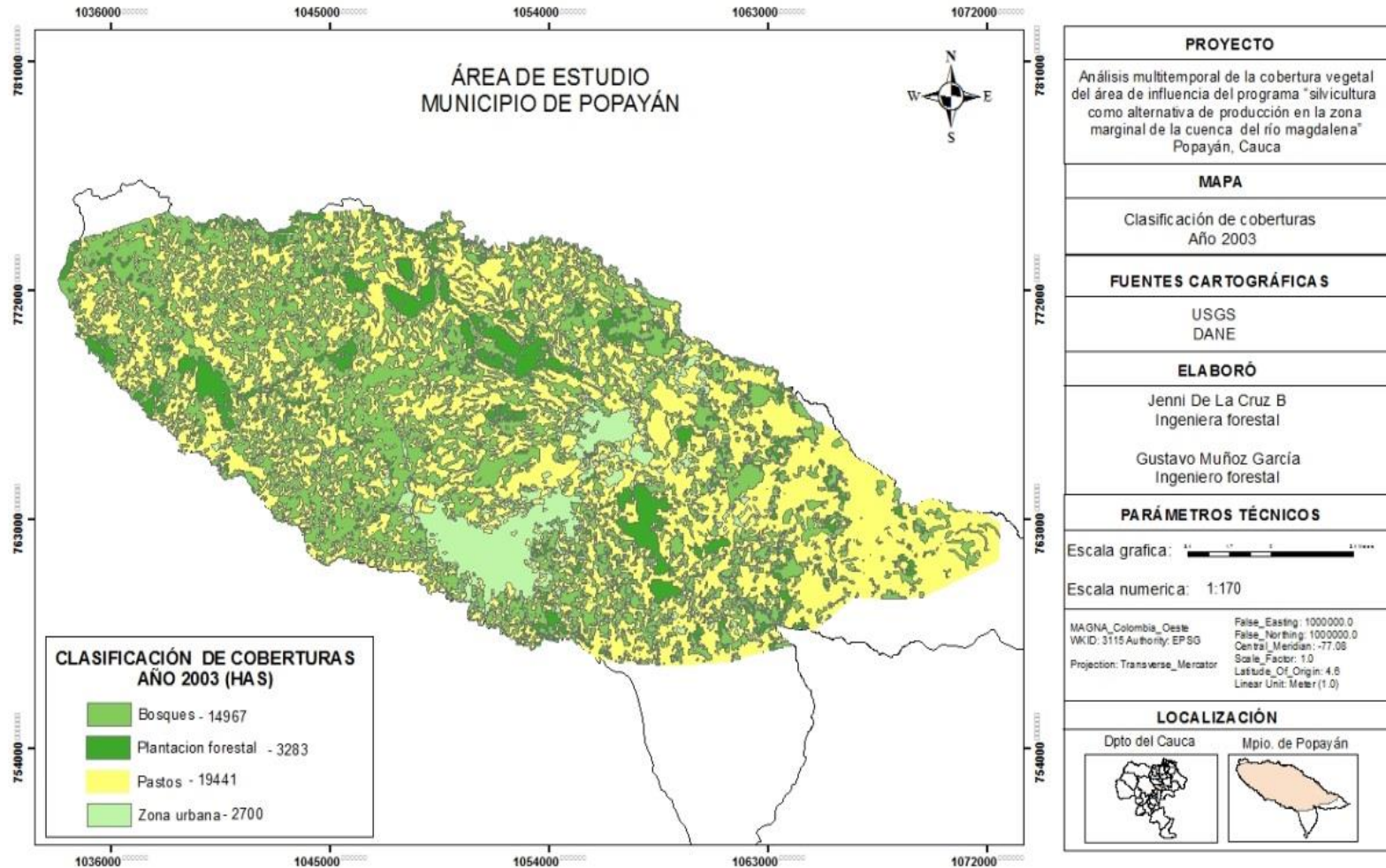
Usando las diferentes herramientas de ARGIS, se diseñó una cartografía que representara la información obtenida y que sirviera de base para la toma de decisiones.

## 5. RESULTADOS

Para el desarrollo del estudio se procesaron dos imágenes obtenidas de fuentes cartográficas proveedoras de imágenes satelitales Landsat (GLOVIS–USGS), tomando como base la información brindada por el Programa de la FNC, la cual al ser procesada, se materializó en una capa tipo vector de la ubicación de las herramientas paisajísticas, es decir, la localización de las siembras correspondientes a la reforestación.

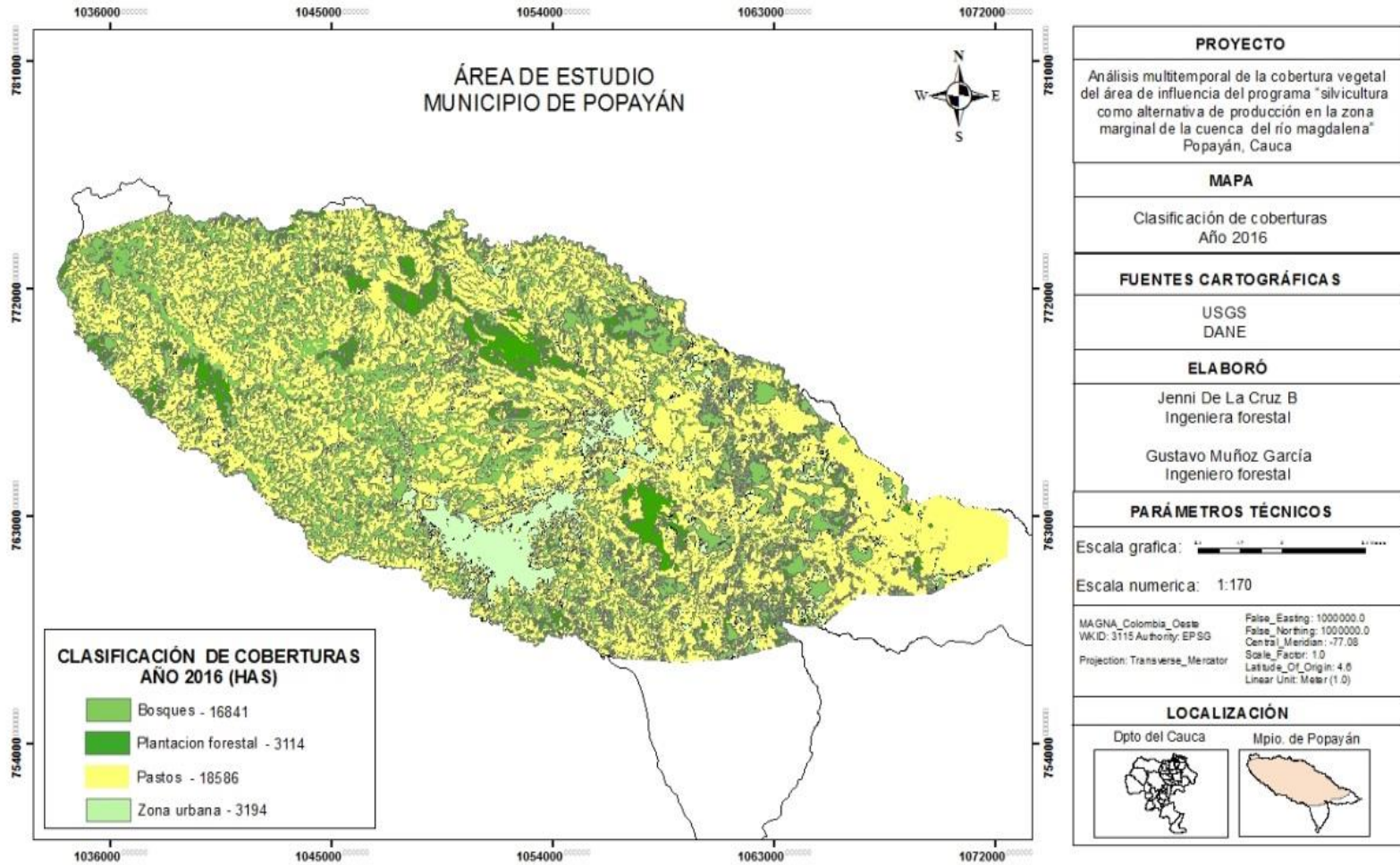
Los resultados obtenidos del análisis multitemporal de las imágenes del área de estudio, correspondientes al año 2003 (ver Ilustración 11) y 2016 (ver Ilustración 12), permitieron inferir las variaciones en el tiempo de las coberturas o clases definidas, evaluando los cambios significativos identificables en los píxeles de estas imágenes.

**Ilustración 11.** Mapa de las coberturas del área de estudio para el año 2003.



Fuente: Los Autores

**Ilustración 12.** Mapa de las coberturas del área de estudio para el año 2016.

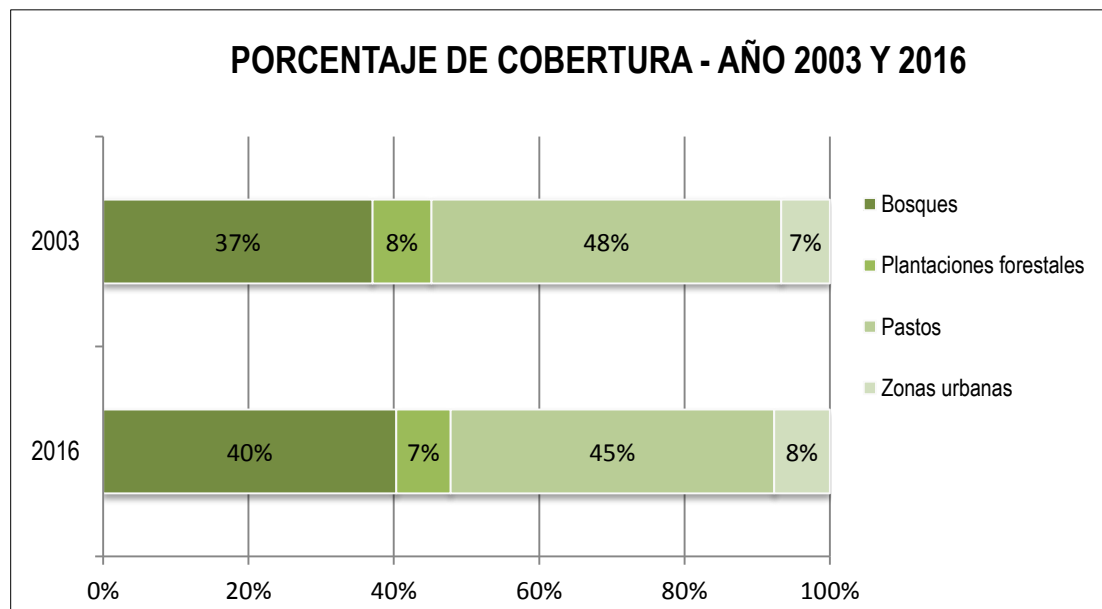


Fuente: Los Autores



Como se puede observar en las imágenes anteriores, para el año 2003 la zona de influencia del proyecto de reforestación de la FNC en el municipio de Popayán, poseía un área boscosa de aproximadamente el 45% de su totalidad, entre plantaciones forestales y bosques naturales; frente al dominante porcentaje de pastos y zonas urbanas en un 48% y 7%, respectivamente. Para el año 2016 el área boscosa tuvo un aumento paulatino, cubriendo el 47% del área total, con la inminente disminución de la cobertura de pastos, que a esta fecha, cubría alrededor del 45%. Después de 13 años, el desarrollo de la zona urbana, aumentó el 1%. (Ver Gráfico 1)

**Gráfico 1.** Porcentaje de tipos de cobertura para los años 2003 y 2016 en el área de estudio en el municipio de Popayán

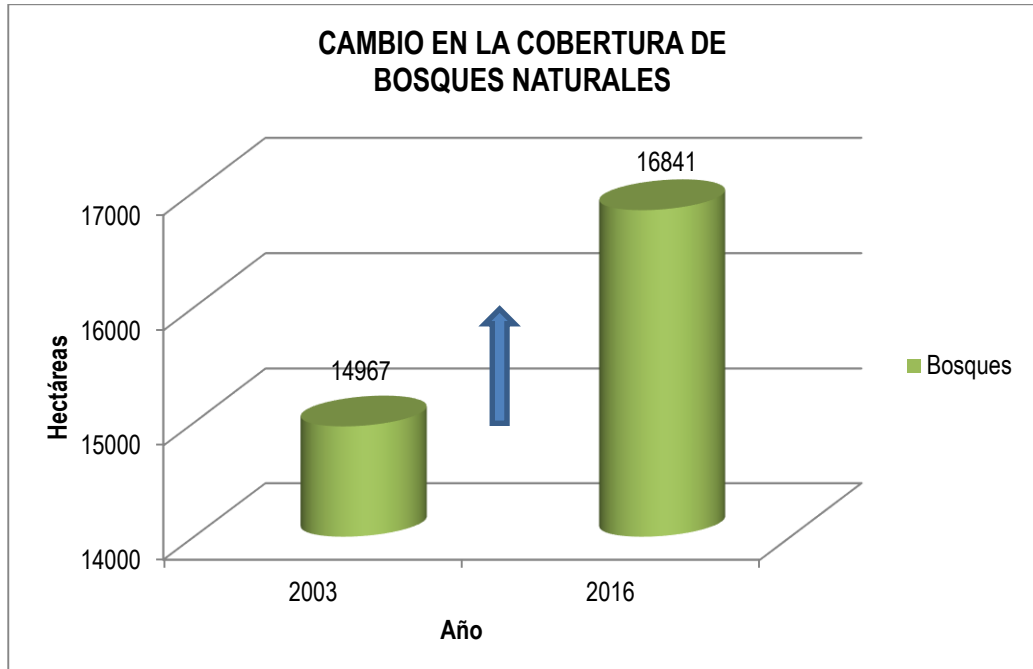


Fuente: Los Autores

Dentro de la cobertura boscosa, se identificaron Plantaciones forestales y Bosques naturales, que pese a estar relacionados entre sí, no mostraron los mismos cambios a nivel de cobertura. La cobertura de bosques aumentó el 3% entre el 2003 y 2016 (ver Gráfico 2), mientras que las plantaciones forestales se redujeron en un 1% (ver Gráfico 3).

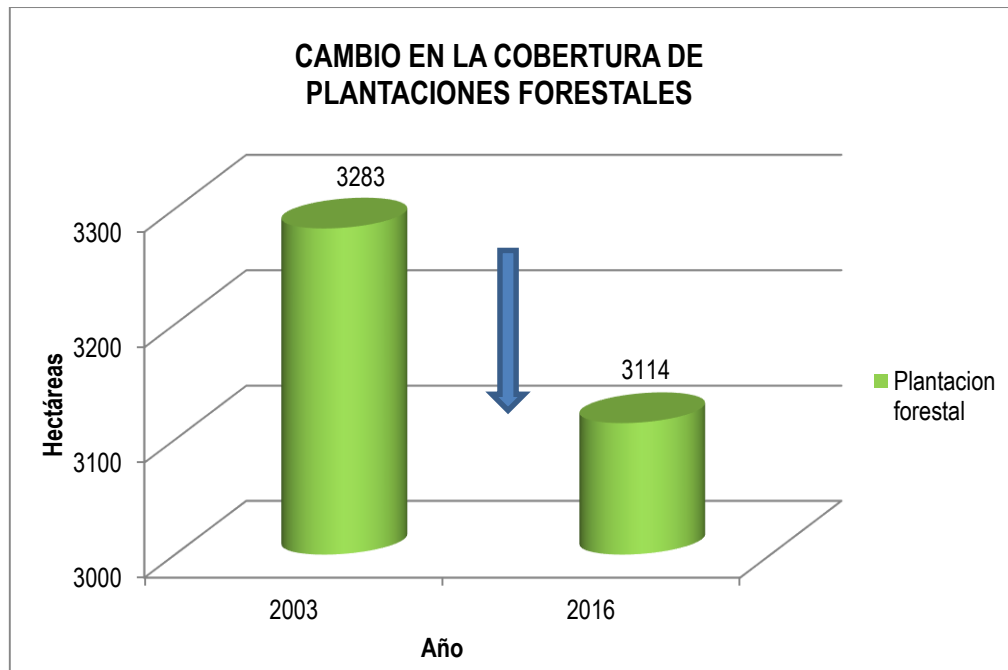
Este aumento puede estar relacionado en parte con las actividades relacionadas con la reforestación, sin embargo, también está dado por los procesos de sucesión vegetal y recuperación natural. Por su parte, la disminución del área de plantaciones forestales puede ser consecuencia de las actividades de aprovechamiento forestal, que hayan sido sancionados durante este periodo.

**Gráfico 2.** Cambios en la cobertura clasificada como Bosques Naturales



Fuente: Los Autores

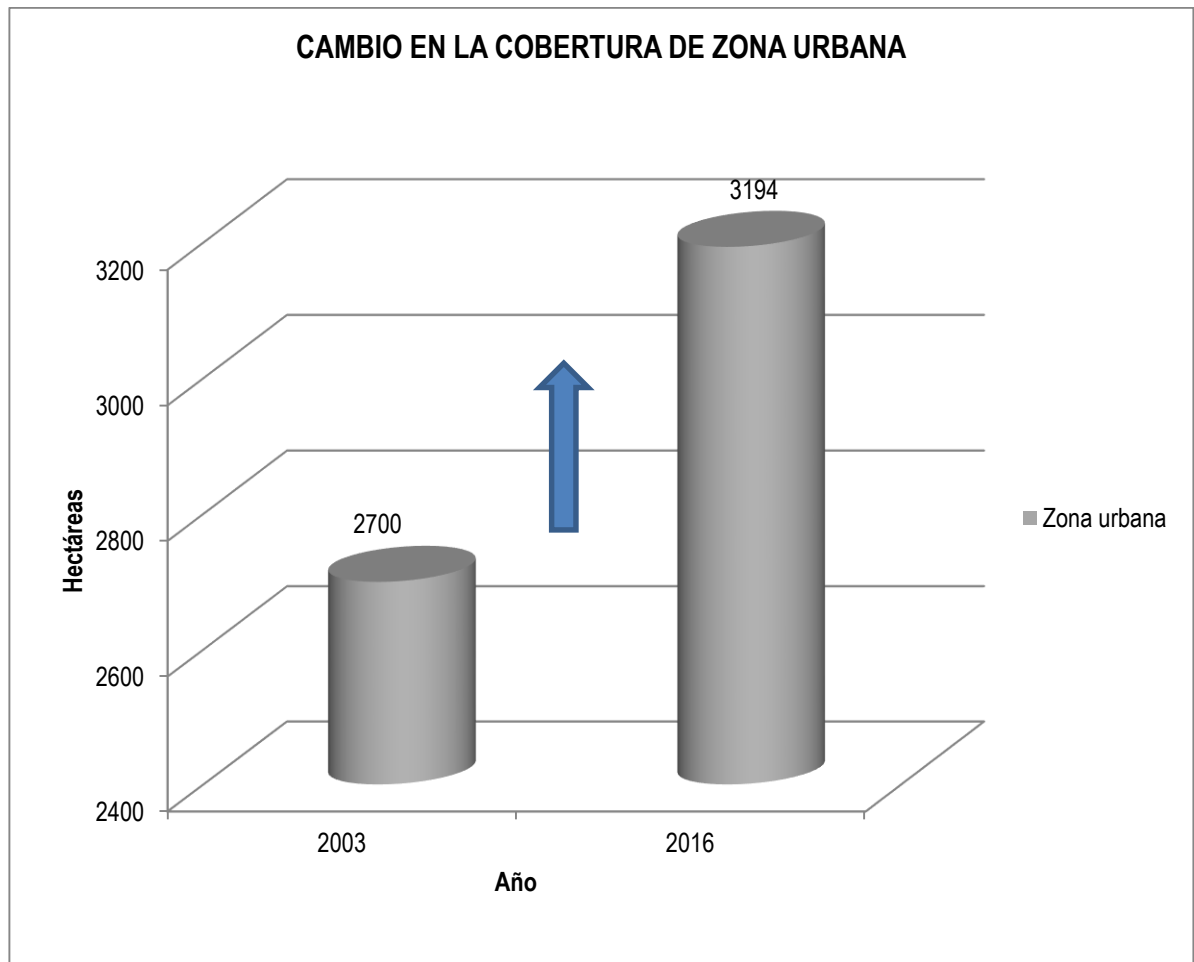
**Gráfico 3.** Cambios en la cobertura clasificada como Plantaciones forestales



Fuente: Los Autores

Un factor relacionado con el cambio de uso de suelo puede ser el desarrollo de procesos urbanísticos, produciendo la disminución de la cobertura vegetal. Sin embargo, el aumento del área urbana en el área de estudio fue poco significativa con relación a las demás clasificaciones, aumentando en un 1%, lo que corresponde a aproximadamente 494 hectáreas (ver Gráfico 4).

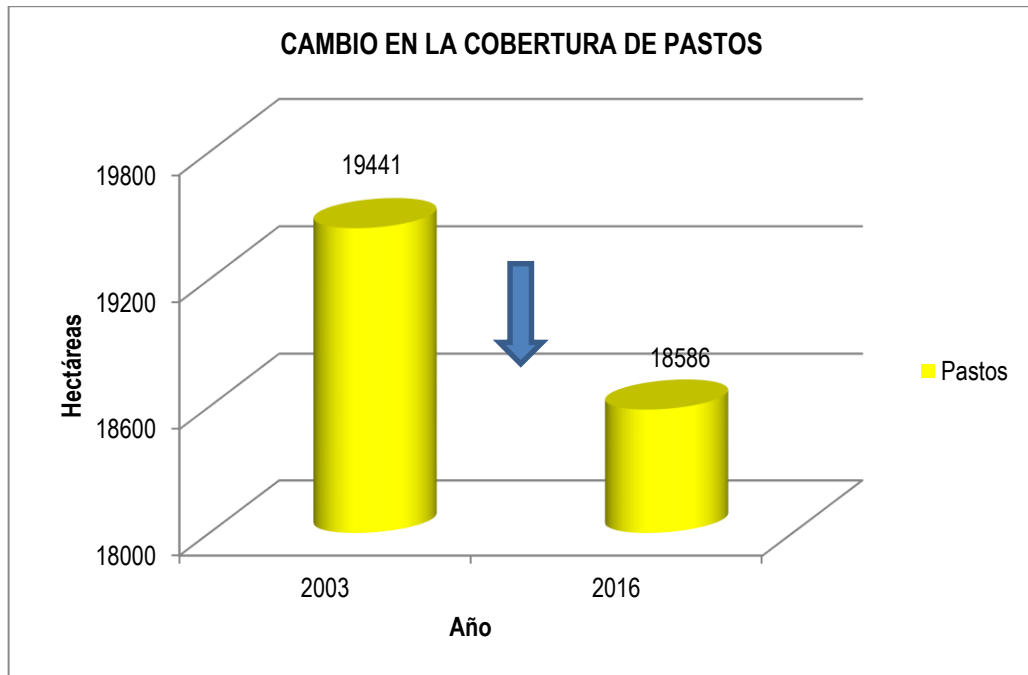
**Gráfico 4.** Cambios en la cobertura clasificada como Zona Urbana



Fuente: Los Autores

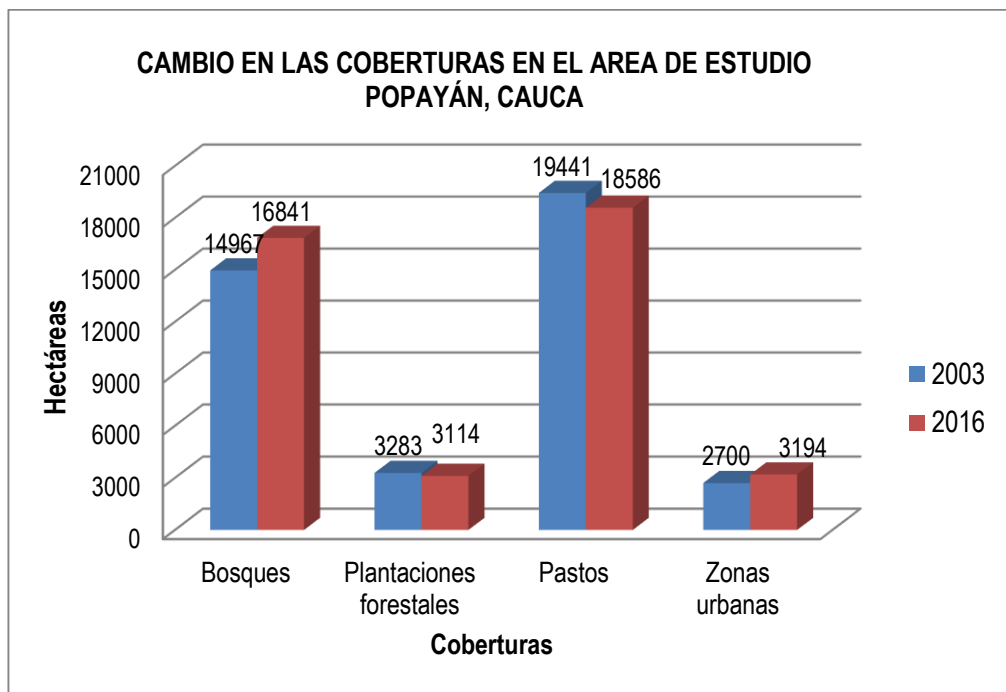
En cuanto a la cobertura de pastos, fenómeno producido por actividades como la expansión de las fronteras agrícolas, la apertura de potreros, el aumento de cultivos, entre otras, se identificó una disminución con respecto al año 2003 (ver Gráfico 5). Sin embargo, esta clasificación es la que se encuentra en mayor extensión sobre la superficie de la zona de estudio (Ver Gráfico 6).

**Gráfico 5.** Cambios en la cobertura clasificada como Pastos



Fuente: Los Autores

**Gráfico 6.** Área de los tipos de cobertura clasificados en el área de estudio



Fuente: Los Autores

La cobertura boscosa identificada en el análisis multitemporal de la imagen del año 2016, cubre alrededor de 19955.8 Has, correspondientes a plantaciones (3114.3 Has) y bosques naturales (16841.5 Has). El aumento se dio en 1874.7 Has de bosques naturales, mientras que en plantaciones disminuyó 168.6 Has. (ver Tabla 6).

**Tabla 6.** Cambios en las coberturas del suelo 2003 y 2016.

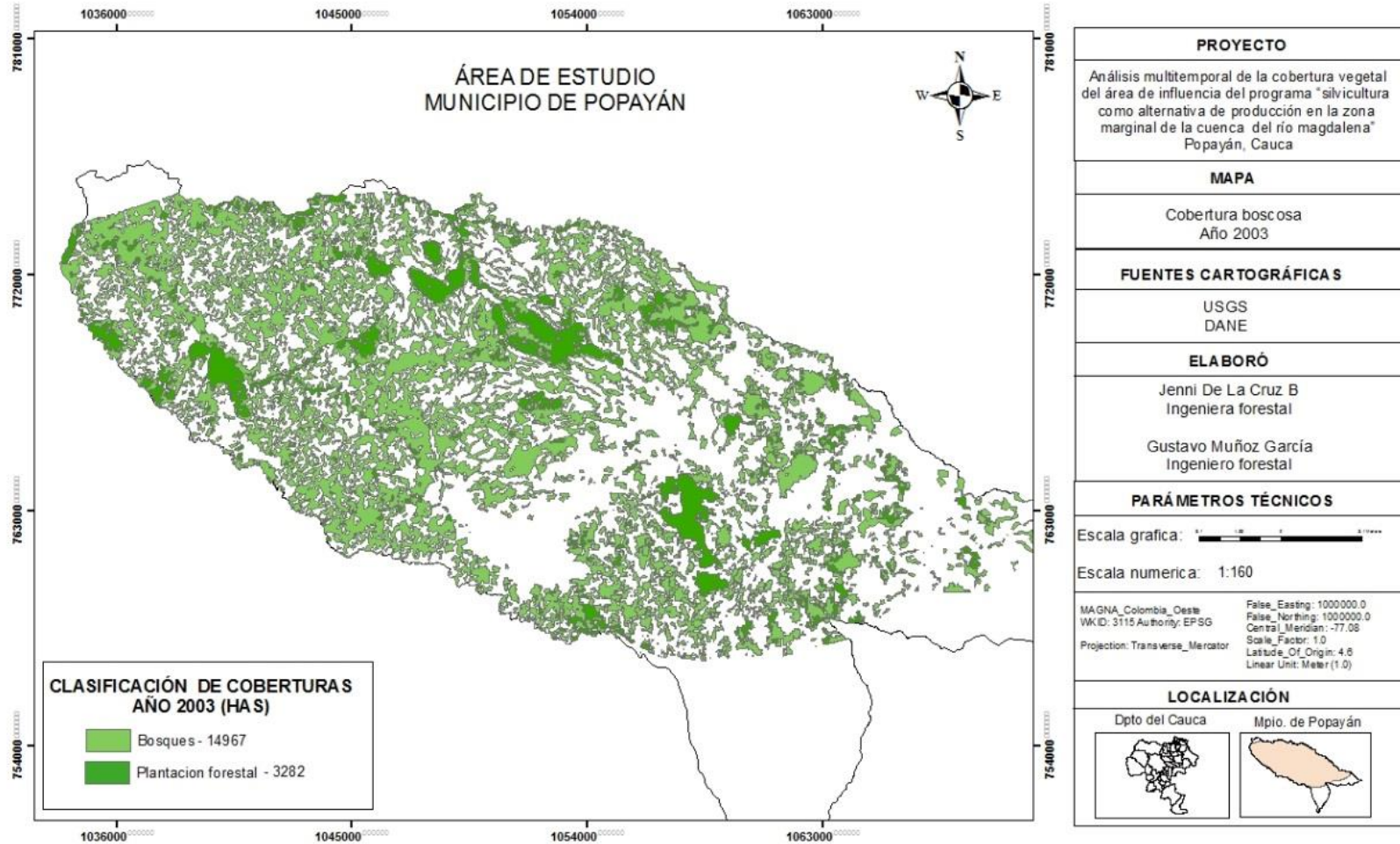
COBERTURAS	AÑO		DIFERENCIA	
	2003	2016	Disminuyó	Aumentó
Bosques	14966.8	16841.5		1874.7
Plantaciones forestales	3282.9	3114.3	168.6	
Pastos	19440.5	18586.0	854.5	
Zonas urbanas	2699.7	3193.5		493.9

Fuente: Los Autores

En el análisis se evidencia que el aumento en el área de las clases correspondientes a cobertura boscosa (bosques y plantaciones forestales), se ha dado gracias a la formación, por medios naturales o antrópicos, de pequeños relictos o fragmentos de vegetación arbórea que adquieren un valor importante con relación a la función de conectividad que prestan al ecosistema.

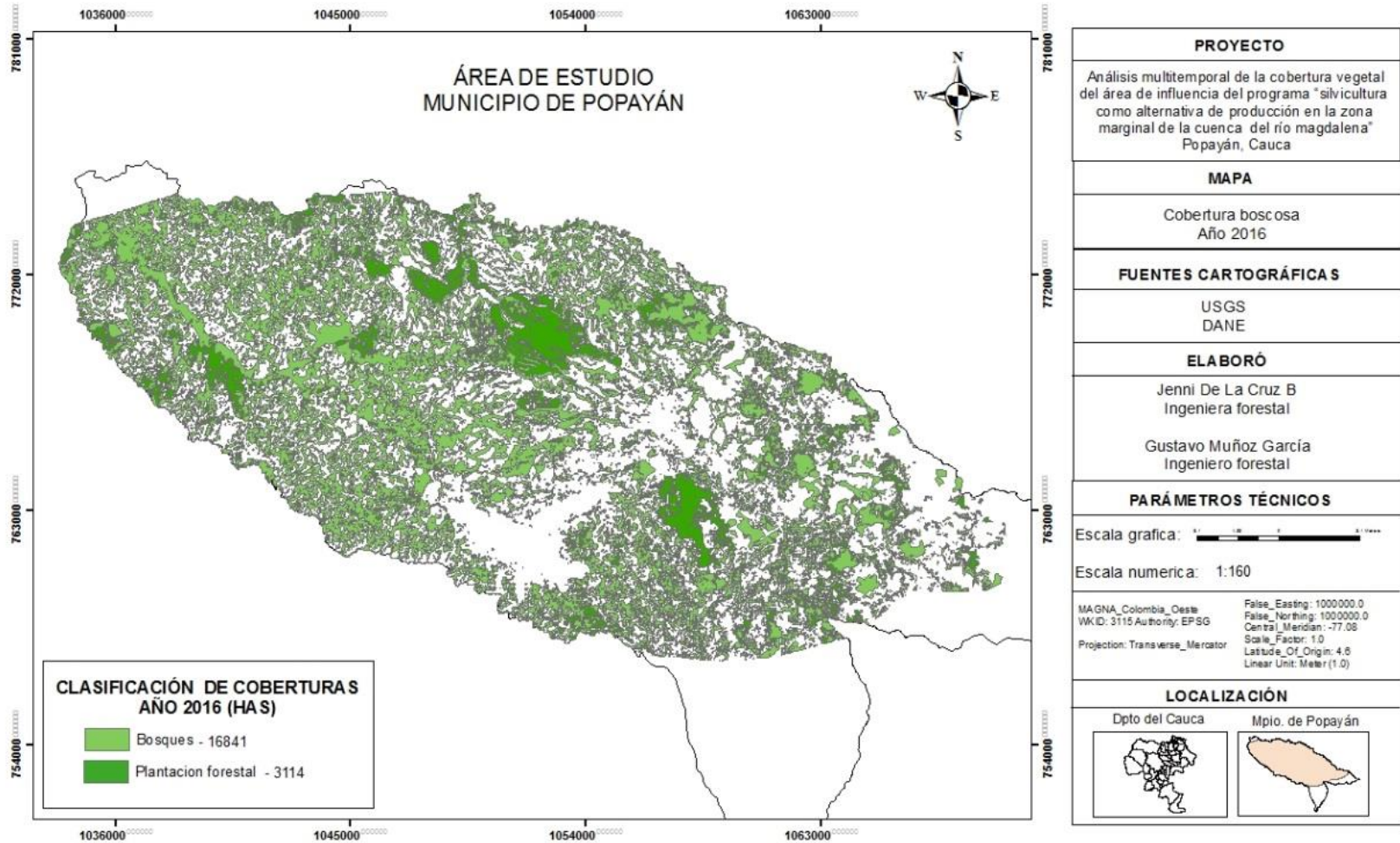
También es posible identificar cambios en la cobertura definida como plantaciones forestales, que aunque se han mantenido desde el año 2003, han perdido una pequeña proporción del área inicial (ver Ilustraciones 13 y 14).

**Ilustración 13. Cobertura boscosa – Año 2003**



Fuente: Los Autores

**Ilustración 14.** Cobertura boscosa – Año 2016



Fuente: Los Autores

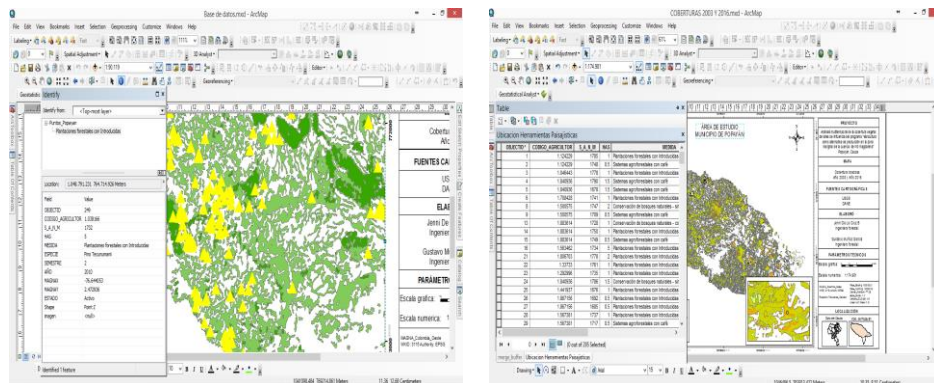
Teniendo en cuenta los resultados, podemos inferir que el aumento de la cobertura boscosa en el área de influencia del programa de la FNC, está vinculado con las tareas de reforestación del mismo, a pesar de la disminución del área de plantaciones forestales, ya que si se tiene en cuenta que el Municipio de Popayán es uno de los núcleos más grandes e importantes de aprovechamiento forestal de empresas privadas, la disminución es insignificante frente a la demanda de madera. Es importante mencionar, que si bien, la deforestación de cualquier ecosistema causa impacto en su dinámica y sus elementos, en este caso, no es tan negativo, ya que las plantaciones se establecen con fines de explotación de madera y así, reducir la presión en los bosques naturales.

El análisis mostro que se aprecian mayores cambios en las zonas correspondientes a los bordes del área de influencia de los ríos y quebradas, es decir, en las rondas hídricas, dando indicios de actividades propiciadas con el fin de preservar la red hídrica de la zona, al concientizar a la comunidad sobre la importancia de la protección de este recurso. Lo anterior uno de los lineamientos del programa de la FNC.

También es posible que el aumento de la cobertura boscosa y la disminución de los pastos, estén relacionados entre sí, ya que las actividades enmarcadas en la restauración ecológica, como es el caso del programa de la FNC, buscan la revegetación del suelo incurriendo en procesos de reforestación con herramientas paisajísticas que alternen la siembra de árboles, con la conservación de pastos o cultivos, buscando no perturbar la productividad de las fincas donde se establecen, es decir, sin causarle afectaciones económicas al propietario.

El almacenamiento y manejo de la información primaria y secundaria de este proyecto dio como resultado una base de datos geográfica (ver Ilustración 15), de la cual se puede obtener información sobre el proyecto de una forma más sencilla, ordenada y práctica. Los archivos se encuentran proyectados en el sistema de coordenadas MAGNA Colombia Oeste – EPSG 3115.

**Ilustración 15.** Base de datos geográfica



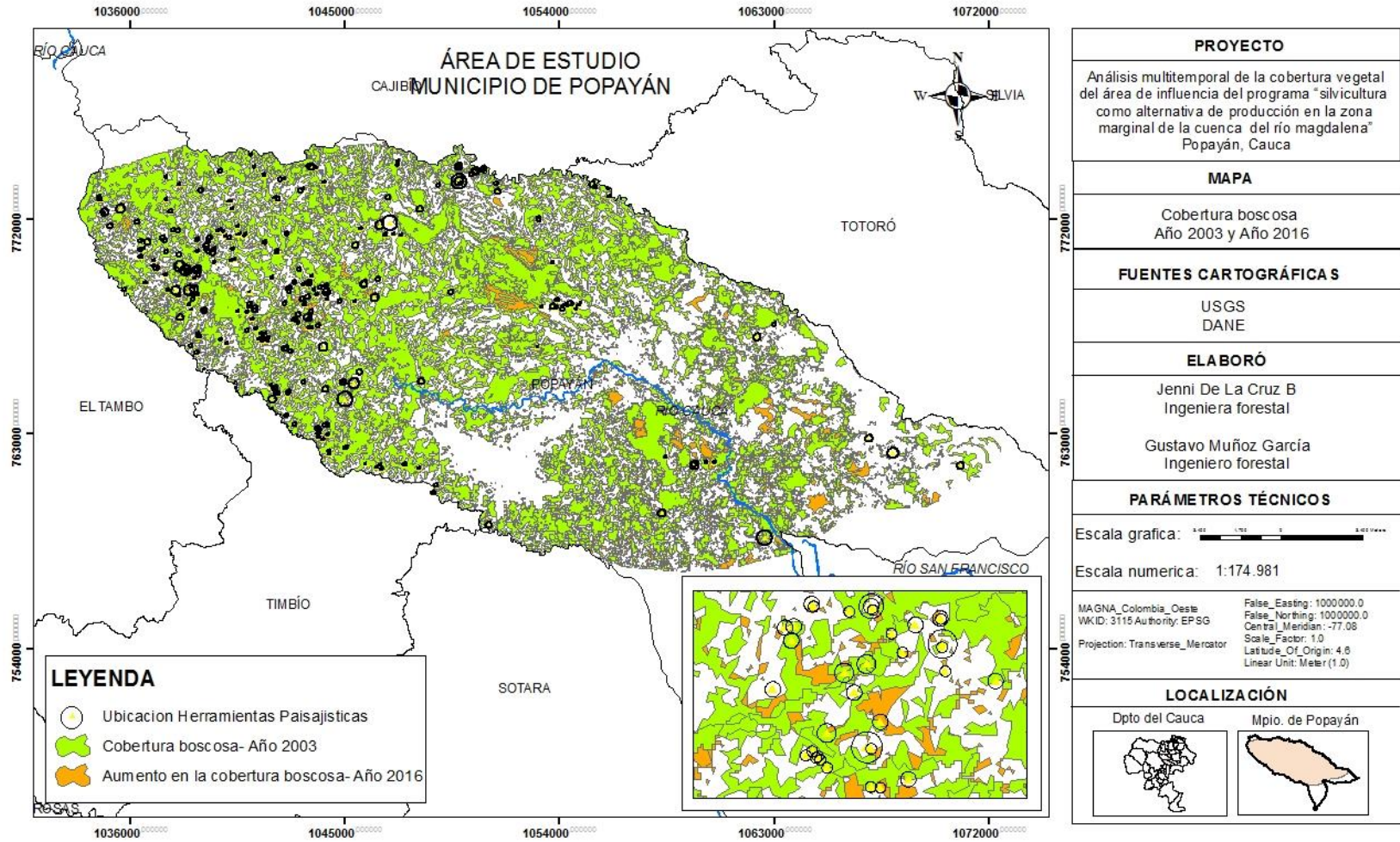
Fuente: Los Autores



La cartografía obtenida facilita la ubicación de las áreas reforestadas, además permite visualizar el desarrollo que han tenido las coberturas (ver Ilustración 16). Sin embargo, la información obtenida no es exacta, ya que al no contar con la georreferenciación completa de los polígonos del área reforestada, no fue posible identificar con claridad y precisión las herramientas paisajísticas (ver Ilustración 17).

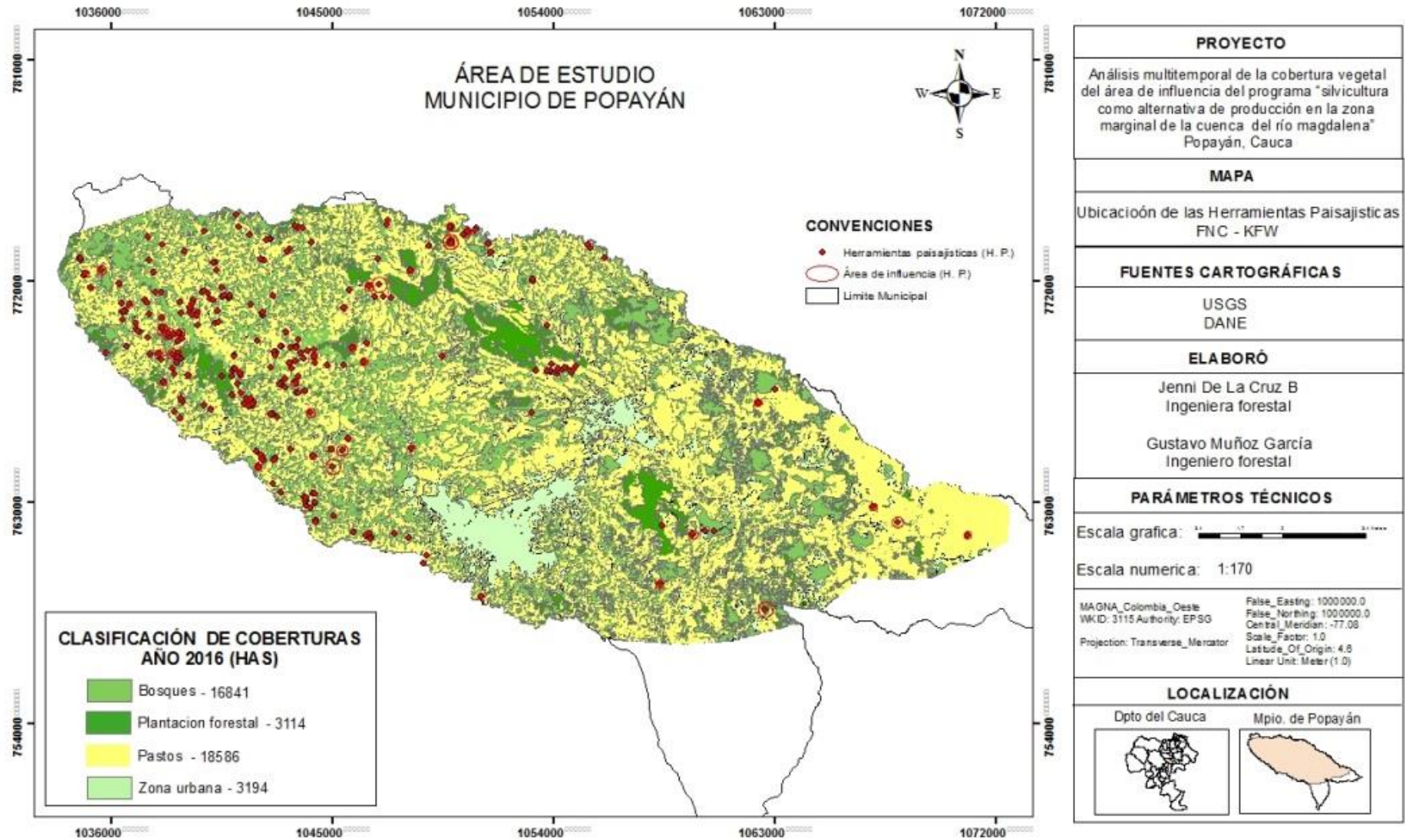
Sin embargo, en el mapa se muestra una zona de influencia de la Herramienta paisajística, en donde posiblemente, pueda estar ubicada la reforestación, y por ende, esta representada como área en proceso de cambio de uso de suelo.

**Ilustración 16.** Coberturas boscosas año 2003 y año 2016.



Fuente: Los Autores

**Ilustración 17. Mapa de ubicación de las herramientas paisajísticas**



Fuente: Los Autores

## 6. CONCLUSIONES

El análisis multitemporal de las imágenes satelitales indica que entre el año 2003 y 2016, la cobertura que más crecimiento tuvo, fue la boscosa con un 45%, sin embargo, y aunque en disminución, son los pastos los que cubren el mayor porcentaje de suelo en el área de estudio, que corresponde a más del 80% de la totalidad del territorio Payanes, algo lamentable para el departamento, debido a su reconocimiento como una zona de aptitud forestal.

La subutilización de los terrenos puede estar influenciada por el aumento de la población a partir de los años 80', incrementando la expansión de nuevas zonas residenciales principalmente, incentivando los procesos productivos y las prácticas agrícolas y pecuarias, las cuales aunadas con el incremento de infraestructura hacen presión sobre el bosque nativo provocando fragmentación de los ecosistemas boscosos y por ende, cambio en la cobertura terrestre.

Como se mencionó, el paisaje más dominante de las coberturas analizadas es el correspondiente a pastizales, a pesar de que en dicho periodo disminuyó su área en un 3%, manteniéndose en un promedio de 46,5%. Este cambio puede estar dado por los procesos de regeneración de especies nativas y la colonización de pioneras en medio de pastizales que no se encuentran en estado productivo o que han sido abandonados.

De acuerdo a la cartográfica producida, las áreas de bosque incrementadas se pueden apreciar principalmente sobre las zonas de protección de Ríos y Quebradas, y en menor proporción sobre las zonas boscosas internas o plantadas, lo cual denota un interés en recuperación de rondas hídricas.

Las plantaciones forestales en el período evaluado han sufrido una disminución del 1%, dato que puede ser variable debido que las actividades de aprovechamiento forestal son persistentes y se ejecutan cosechas en diferentes periodos del año, generando variaciones en su área total pero manteniendo un promedio. Esta cobertura denota un incremento de 3114 has, aproximadamente el 8% del área total del municipio, lo cual, según datos del POT municipal, en el año 1999 era del 4.04%.

La información levantada en campo es vital para tener una referencia más precisa de cada una de las herramientas establecidas y permitir un análisis más específico y detallado, por lo cual es necesario no solamente referenciar un punto del predio sino referenciar el polígono donde se encuentra cada herramienta del paisaje.

Los relictos de bosque plantado, resultado de las actividades para la recuperación de la cobertura vegetal, se encuentran en el área rural del Municipio de Popayán, en donde se restringe la expansión de las fronteras urbanas.

Las imágenes Landsat son de gran importancia y valiosas debido a la amplitud espectral que logran. Las imágenes empleadas para este análisis tamaño de pixel mínimo de 30m, restituyendo a escala 1:100.000 brindaron la información necesaria para el análisis multitemporal. Sin embargo, para mayor precisión las Imágenes del Sensor RApiEye con tamaño de pixel 5m da mayor eficiencia y permite la interpretación digital a escala 1:25000

Finalmente, al determinar que el área de influencia de las herramientas del paisaje sembradas se encuentra en estado de restauración, debido a la regeneración de coberturas vegetales, se puede reconocer la importancia de las actividades del programa de la FNC, mostrando un impacto positivo real a nivel regional y nacional, y que además sirviera para la planificación, ordenamiento del territorio y ejecución de acciones de restauración de los ecosistemas fragmentados.

## **7. RECOMENDACIONES**

Para aprovechar de una forma correcta e idónea la información geográfica recolectada, es imprescindible, el levantamiento completo y preciso de los datos de georreferenciación de los polígonos en donde se han establecido las herramientas paisajísticas, o se han realizado actividades de aislamiento con fines de protección, con el objetivo de tener datos más precisos que permitan realizar el cálculo de las áreas intervenidas.

El análisis multitemporal del cambio en la cobertura vegetal del área de influencia del programa de la FNC, en el municipio de Popayán, facilita el seguimiento y monitoreo del incremento o la disminución del porcentaje de áreas naturales, lo que se convierte en una herramienta indispensable para la toma oportuna de decisiones, en conformidad con las políticas de uso sostenible y protección de los recursos naturales establecido en la planificación territorial.

Es importante realizar análisis multitemporales a las demás áreas reforestadas por el programa de la FNC, lo que permitirá tener una perspectiva más clara y real sobre los avances que ha tenido el proyecto, con el fin de mejorar las estrategias para la restauración de los ecosistemas boscosos y la dinámica con su entorno.

## BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN. Plan de ordenamiento territorial del Municipio de Popayán: Capítulo II. Clasificación del territorio en suelo urbano, Suburbano, rural y de expansión urbana. 2013. p. 363. [En línea]. [Consulta: 03/07/2016]. Disponible en: <<http://popayan.gov.co/ciudadanos/la-alcaldia/planeacion-gestion-y-control/plan-de-ordenamiento-territorial-pot>>

ARDILA LEÓN, Jhon Fredy. Aplicación de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica en la interpretación de zonas inundables. Caso de estudio: Río Soapaga, Sector Paz de Río, Boyacá. Bogotá D. C., 2013, 76 p., Vol 23. Universidad Militar Nueva Granada - Ciencia E Ingeniería Neogranadina

ATENCIA VERGARA, Fidel, et al. Estudio multitemporal de imágenes satelitales con fines de delimitación del complejo Bajo San Jorge margen izquierdo (B13) y diagnóstico de zonas intervenidas antropicamente (agricultura y minería). Sincelejo, 2008, 117 p. Ingeniero Agrícola. Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Agrícola.

PALACIOS BERMÚDEZ, Erika. Análisis multitemporal en la cobertura boscosa de la Zona Norte del departamento del Chocó, 1990 – 2014. Manizales, 2015, Especialista en Sistemas de Información Geográfica. Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Programa de Especialización en Sistemas de Información Geográfica. 51 p.

CABRERA MONTENEGRO, Edersson, et al. Memoria técnica de la cuantificación de la deforestación histórica nacional – Escalas gruesa y fina. IDEAM. Bogotá D.C.: Los autores, 2011. 106 p. ISBN 978-958-8067-46-9.

CHUVIECO, Emilio. Fundamentos de teledetección espacial. Segunda edición. Madrid: Ediciones RIALP S. A. 1995. ISBN 843212680-2

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 139. (21, junio, 1994). Por la cual se crea el Certificado de Incentivo Forestal y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá, D.C., 22 de junio de 1994, no. 41401.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. MADR. Colombia: un país de oportunidades para la inversión forestal. [En línea]. Colombia: El ministerio. [Consulta: 19/08/2016]. Disponible en: <[http://www.minagricultura.gov.co/archivos/cartilla\\_silvicultura.pdf](http://www.minagricultura.gov.co/archivos/cartilla_silvicultura.pdf)>

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, MADR. Plan Nacional de Acción para la Reforestación Comercial. 2011. [En línea]. Bogotá D. C.: El Ministerio. 32 p. [Consulta: 11/09/2016]. Disponible en: <<https://vuf.minagricultura.gov.co/Documents/5.%20Estadisticas%20Sector%20Forestal/Plan%20de%20Accion%20Reforestacion%20Comercial.pdf>>

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Plan Nacional de Restauración. Restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. [En línea]. Colombia: El ministerio. 2015. 92 p. [Consulta: 25/07/2016]. Disponible en: <[https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/plan\\_nacional\\_restauracion/PLAN\\_NACIONAL\\_DE\\_RESTAURACION\\_2015.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/plan_nacional_restauracion/PLAN_NACIONAL_DE_RESTAURACION_2015.pdf)>

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Sala de prensa: Aumenta deforestación en Colombia para 2014. [En línea]. Colombia: El ministerio. [Consulta: 18/06/2016]. Disponible en: <[http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset\\_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/aumenta-deforestacion-en-colombia-para-2014](http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/aumenta-deforestacion-en-colombia-para-2014)>

COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. Análisis de tendencias y patrones espaciales de deforestación en Colombia. 2011. [En línea]. Colombia: El instituto. [Consulta: 20/07/2016]. Disponible en: <<http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13817/Proyecciones.pdf/6cad956b-6b92-4320-a090-2000408a5765>>

COLOMBIA. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC. Descripción y corrección de imágenes Landsat 8. LDCM. Versión 1.0. Bogotá D. C.: Centro de Investigación y Desarrollo – CIAF, 2013. 45 p.

COLOMBIA. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC. Sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial - SIGOT. [En línea]. Bogotá: SIGOT, 2016. Citado en: 21/03/2016 Disponible en: [http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/frames\\_pagina.aspx](http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/frames_pagina.aspx)

COLOMBIA. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI, IGAC. Tipos de coordenadas manejados en Colombia. Bogotá D. C.: El instituto. 2004. 17 p.

COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. Tasa de deforestación en Colombia para 2014. Bogotá D. C.: El Instituto. 2015. 26 p.



FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS, FNC. 20 años de desarrollo forestal con pequeños agricultores. Bogotá D. C.: La Federación. 124 p.

GARCÍA ROMERO, Helena. Deforestación en Colombia: Retos y perspectivas. Colombia: KAS\_SOPLA. 2014. 28 p.

GUERRA CEREZO, Eslid Ana. Análisis multitemporal de la cobertura y uso de la tierra a través del sistema LCCS en la cuenca baja del Río Grande-Santa Cruz. Cochabamba, 2006. Magister en Información de Suelos para el Manejo de los Recursos Naturales. Universidad Mayor de San Simón. Maestría Profesional en Información de Suelos para el manejo de los Recursos Naturales. 71 p.

INGENIERÍA, TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, INGTELSIG. Análisis multitemporal de imágenes satélite para la detección de cambios de la cobertura de la tierra para definir una línea de base que permita evaluar los impactos de la protección y manejo de los recursos naturales promovidos por el programa MASRENASE en BOSAWAS/RAAN y en los Departamentos de Rivas, Carazo y Granada. Managua, 2008. 67 p.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA, INEGI. Sistemas de Información Geográfica. 2014. México: El Instituto. p. 21.

MEHL, H.; PEINADO, O. 1997. Fundamentos del Procesamiento Digital de Imágenes. En: Aplicación de la teledetección y de los sistemas de información geográfica en la gestión de recursos naturales. Parte I: Fundamentos teóricos y prácticos. ISBN: 3-931227-61-8.

OLAYA, Víctor. Sistemas de Información Geográfica. Versión 1.0. ---, 2011. 883 p.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. FAO. La deforestación disminuye en el mundo, pero continúa a ritmo alarmante en muchos países. [En línea]. [Consulta: 25/05/2016]. Disponible en: <<http://www.fao.org/news/story/es/item/40952/icode/>>

PROEXPORT. Sector forestal en Colombia. --: PROEXPORT. 2012. p. 3

ROMERO M., CABRERA E., ORTIZ N. Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2006-2007. Instituto de Investigación Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C. Colombia. 2008. 186 p.

RUIZ, V, et al. Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Mirafior Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011. Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente, 2013. [Citado el 20 de mayo de 2016]. ISSN 1697-2473.

RUIZ, Jorge et al. Deforestación y dinámica del bosque secundario en la amazonia colombiana 1986-2000. Bogotá D. C.: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 2011. [Citado el 17 de septiembre de 2016] vol.35 no.137. ISSN 0370-3908.

SASTRE OLMOS, Pablo. Sistemas de Información Geográfica (SIG): Técnicas básicas para estudios de biodiversidad. España: El autor, 2008. 58 p.

SOLUCIONES INTEGRALES EN GEOMATICA. Imágenes satelitales, LANSAT. [en línea]. [Consulta: 15/10/2016]. Disponible en <<http://www.geosoluciones.cl/landsat/>>

TREJOS, Noel. Dinámica del uso de la tierra e identificación de las áreas críticas de la región de playa Venado, provincia de Los Santos, república de Panamá. En: MUÑOZ GUERRERO, David, *et al.* Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en La microcuenca las minas, corregimiento de La Laguna, Municipio de Pasto, departamento de Nariño. Pasto, 2008, 10 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agroforestal). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa de Ingeniería Agroforestal