



*Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad de Ciencias Ambientales
Administración Ambiental*

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE COBERTURAS Y USOS DEL SUELO:
TRANSFORMACIONES AMBIENTALES A TRAVÉS DEL TIEMPO EN
ARMENIA, QUINDÍO**

Presentado por:

JORGE ANDRÉS CORREA VALENCIA



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
ADMINISTRACION AMBIENTAL
PEREIRA
2018**



*Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad de Ciencias Ambientales
Administración Ambiental*

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE COBERTURAS Y USOS DEL SUELO:
TRANSFORMACIONES AMBIENTALES A TRAVÉS DEL TIEMPO EN
ARMENIA, QUINDÍO**

Presentado por:

JORGE ANDRÉS CORREA VALENCIA

**Trabajo de grado para optar al título de
Administrador Ambiental**

Director

SANTIAGO RESTREPO CALLE

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
ADMINISTRACION AMBIENTAL
PEREIRA
2018**



NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma director

Firma Jurado



*Universidad Tecnológica de Pereira
Facultad de Ciencias Ambientales
Administración Ambiental*



DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres Rubiel Correa Giraldo y Ana María Valencia quienes me enseñaron lo valioso de ser una persona humilde y honesta, que desde niño se preocuparon por forjarme valores que me permitirán llegar hasta donde hoy estoy, también lo dedico a mis tres hermanos Víctor, David y Jennifer quienes me acompañaron durante este proceso transmitiendo siempre sus mejores energías, a Daniela Arias quien con su amor y paciencia logro darme el impulso necesario para culminar con éxito, por ultimo quiero dedicarlo a las familias campesinas del municipio de Armenia que abrieron las puertas de sus hogares y nos acogieron de forma desinteresada esperando que su participación en el proyecto brindara los elementos necesarios para dar cumplimiento a los objetivos propuestos.



AGRADECIMIENTOS

Los más sinceros agradecimientos a mis padres y mis hermanos por su apoyo incondicional.

A los docentes de la universidad tecnológica de Pereira quienes con su enseñanza me aportaron elementos importantes para el desarrollo humano y profesional.

Al grupo de investigación Ecología Ingeniería y Sociedad por su apoyo, paciencia y tolerancia.

A mis compañeros de estudio quienes me acompañaron durante este largo recorrido.

Al profesor Santiago Restrepo por sus aportes y su acompañamiento como director.

Agradecimientos totales a la profesora Ligia Janet Molina por su amistad y paciencia, por regalarme su valioso tiempo y entregar aportes muy importantes para la finalización del proyecto.

Gracias al grupo de investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos quienes con su proyecto “Servicios ecosistémicos generados por diversos arreglos del cultivo de plátano en el Eje Cafetero Colombiano” permitieron generar un espacio para la formulación de mi tesis.

Gracias al grupo de investigación de Ecología Ingeniería Sociedad por acogerme y bríndame los espacios necesarios para realizar el trabajo en campo.



TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 15 |
| 2. OBJETIVOS | 17 |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL | 17 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 17 |
| 3. MARCO TEÓRICO..... | 18 |
| 3.1 COBERTURA DEL TERRENO | 18 |
| 3.2 COBERTURA VEGETAL..... | 18 |
| 3.3 USO DEL TERRENO..... | 19 |
| 3.4 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)..... | 19 |
| 3.5 SENSORES REMOTOS | 20 |
| 3.6 UNIDAD MÍNIMA DE MAPEO..... | 20 |
| 3.7 IMÁGENES SATELITALES | 20 |
| 3.8 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES SATELITALES | 21 |
| 3.9. METODOLOGÍA CORINE LAND COVER..... | 21 |
| 3.10 SÍNTESIS Y DEFINICIÓN DE USOS DE SUELO SEGÚN LA LEYENDA CORINE LAND COVER..... | 22 |
| 3.10.1 Territorios Artificializados..... | 22 |
| 3.10.1.1 Tejido Urbano Continuo..... | 22 |
| 3.10.2 Territorios Agrícolas..... | 22 |
| 3.10.2.1 Cultivos Transitorios | 22 |
| 3.10.2.2. Cultivos Permanentes..... | 22 |
| 3.10.3 Pastos..... | 22 |
| 3.10.4 Áreas Agrícolas Heterogéneas | 23 |
| 3.10.5 Bosques..... | 23 |
| 3.10.6 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva | 23 |
| 3.10.7 Áreas abiertas sin o con poca vegetación | 23 |
| 3.10.8 Áreas húmedas..... | 23 |
| 3.10.9 Superficies de aguas | 24 |



| | |
|--|----|
| 3.10.9.1 Aguas Continentales..... | 24 |
| 3.11 CLASIFICACIÓN SUPERVISADA | 24 |
| 3.12 COMPOSICIÓN DE BANDAS ESPECTRALES..... | 25 |
| | 25 |
| 4. ANTECEDENTES | 26 |
| 5. METODOLOGIA..... | 34 |
| 5.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO..... | 34 |
| 5.2 REFERENTES MULTITEMORALES..... | 36 |
| 5.2.1 Preparación | 37 |
| 5.2.1.1 Búsqueda de información secundaria | 37 |
| 5.2.1.2 Selección y descarga de imágenes satelitales Landsat..... | 37 |
| 5.2.1.3 Composición de las imágenes descargadas | 38 |
| 5.3 DOCUMENTACIÓN DEL CONTEXTO HISTORIO SOCIOECONÓMICO DEL MUNICIPIO DE ARMENIA..... | 39 |
| 5.4 REFERENTES HISTÓRICOS Y MULTITEMPORAL | 40 |
| 5.4.1 Información Bibliográfica..... | 40 |
| 5.4.2 Información recolectada de fincas cultivadas en plátano..... | 40 |
| 5.4.2.1 Selección de fincas..... | 40 |
| 5.4.2.2 Método de recolección de la información | 40 |
| 5.4.2.3 Análisis de la información | 41 |
| 6. RESULTADOS OBTENIDOS | 41 |
| 6.1 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES Y MEJORAMIENTO VISUAL Y ESPACIAL | 41 |
| 6.1.1 Mejoramiento de imagen mediante aplicación de filtros | 41 |
| 6.1.2 Corte de zona de interés..... | 42 |
| 6.1.3 Clasificación supervisada | 43 |
| 6.1.4 Post – Procesamiento..... | 46 |
| 6.1.5 Consolidación De Resultados..... | 47 |
| 6.1.6 Análisis Multitemporal | 48 |
| 6.2 CONTEXTO HISTÓRICO SOCIOECONÓMICO | 50 |
| 6.2.1 Bonanza cafetera..... | 50 |



| | |
|---|----|
| 6.2.2 Crisis cafetera | 51 |
| 6.2.3 Narcotráfico en los años 80 | 52 |
| 6.2.4 Turismo | 52 |
| 6.2.5 Terremoto de 1999 | 53 |
| 6.3 ANÁLISIS DE REFERENTES HISTÓRICOS Y MULTITEMPORAL | 53 |
| 6.3.1 Información bibliográfica y multitemporal | 53 |
| 6.3.2 Información obtenida de las entrevistas | 55 |
| 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 57 |
| 7.1 ANÁLISIS DE REFERENTE MULTITEMPORAL | 57 |
| 7.2 ANÁLISIS CONTEXTO HISTORIO SOCIOECONÓMICO | 61 |
| 7.3 ANÁLISIS DE REFERENTES HISTÓRICOS Y MULTITEMPORALES | 62 |
| 9. RECOMENDACIONES | 73 |
| 10. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA | 74 |



LABLA DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|-----------|
| <i>Ilustración 1. Tipos de bandas espectrales.</i> | <i>25</i> |
| <i>Ilustración 2. Línea de tiempo, antecedentes nacionales.</i> | <i>26</i> |
| <i>Ilustración 3. Línea de tiempo, antecedentes internacionales.</i> | <i>27</i> |
| <i>Ilustración 4. Diagrama Metodológico.</i> | <i>34</i> |
| <i>Ilustración 5. Ubicación del municipio de Armenia, departamento del Quindío.</i> | <i>35</i> |
| <i>Ilustración 6. Portal USGS para descarga de imágenes Landsat.</i> | <i>38</i> |
| <i>Ilustración 7. Mejoramiento espacial de imagen Landsat 8 Oli, al lado izquierdo imagen sin filtro y al lado derecho imagen con filtro.</i> | <i>42</i> |
| <i>Ilustración 8. Extracción de AOI correspondiente al municipio de Armenia.</i> | <i>42</i> |
| <i>Ilustración 9. Selección de áreas de entrenamiento.</i> | <i>44</i> |
| <i>Ilustración 10. Análisis estadístico de histogramas y grado de correlación entre coberturas.</i> | <i>45</i> |
| <i>Ilustración 11. Resultado de aplicación de algoritmo de clasificación supervisada.</i> | <i>45</i> |
| <i>Ilustración 12. Visualización de archivo shapefile en el software ArcGis 10.4.</i> | <i>46</i> |
| <i>Ilustración 13. Coberturas obtenidas con la consolidación de resultados.</i> | <i>47</i> |
| <i>Ilustración 14. Análisis multitemporal 1998 y 2015.</i> | <i>48</i> |
| <i>Ilustración 15. Información de los predios y sus propietarios.</i> | <i>56</i> |
| <i>Ilustración 16. Definición de utilizable e inutilizable durante el proceso de análisis.</i> | <i>58</i> |
| <i>Ilustración 17. Cambios de la cobertura de guadua y bosque durante el periodo 1998-2015.</i> | <i>67</i> |
| <i>Ilustración 18. Crecimiento de la cobertura de guadua y bosque durante el periodo 1998-2015.</i> | <i>68</i> |
| <i>Ilustración 19. Crecimiento de la cobertura de plátano durante el periodo 1998-2015.</i> | <i>69</i> |
| <i>Ilustración 20. Crecimiento del área urbana.</i> | <i>70</i> |
| <i>Ilustración 21. Crecimiento de la cobertura de café durante el periodo 1998-2015.</i> | <i>71</i> |



LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----------|
| <i>Tabla 1. Características y vista previa de las imágenes seleccionadas.</i> | <i>39</i> |
| <i>Tabla 2. Tipos de combinaciones de bandas Landsat</i> | <i>43</i> |
| <i>Tabla 3. Cambios en la cobertura del suelo 1998 a 2015 Análisis Multitemporal..</i> | <i>49</i> |
| <i>Tabla 4. Cambios en la cobertura del suelo 1998 a 2015</i> | <i>55</i> |



GLOSARIO

Análisis Multitemporal: Análisis de tipo espacial que se realiza mediante la comparación de las coberturas interpretadas en dos imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar en diferentes fechas y permite evaluar los cambios en la situación de las coberturas que han sido clasificadas.

Coberturas del suelo: Tipo de ocupación existente sobre el suelo, ya sea esta vegetación natural, cultivos agrícolas o espacios urbanos.

Imágenes Satelitales: Representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Estos sensores recogen información reflejada para la superficie de la tierra que luego es enviada a la Tierra y que procesada convenientemente entrega valiosa información sobre las características de la zona que cubre.

Landsat: Serie de satélites construidos por la NASA dedicados específicamente a la detección de recursos naturales.

Sistema de Información Geográfica (SIG): Conjunto de programas que permiten almacenar, modificar y relacionar cualquier tipo de información espacial.



RESÚMEN

La ampliación de la cobertura agrícola y el crecimiento demográfico, han generado cambios frente a las tendencias de cobertura y uso del terreno los cuales serán analizados mediante la interpretación del área urbano-rural del municipio de Armenia, departamento del Quindío, Colombia, para dos periodos de tiempo comprendidos entre 1998 y 2015, es así como el objetivo principal de la investigación consiste en llevar a cabo un análisis multitemporal mediante el uso de imágenes satelitales y fotografías aéreas, teniendo en cuenta en uso de herramientas de edición y sistemas de información geográfica en la clasificación y generación de estadísticas, que permitan establecer una serie de atributos para analizar las tendencias frente al cambio en las coberturas y usos del terreno.

El análisis de referentes multitemporales he históricos muestran que la cobertura que más ha sido transformada durante el periodo 1998-2015 es la de Guadua y bosque con la perdida de más del 70% de área sembrada, seguida por la disminución paulatina en los cultivos de café, mientras que las cobertura de suelo urbano ha ganado un alto porcentaje en área, obedeciendo a los procesos de crecimiento demográfico que sufre el municipio de Armenia, también se configura la cobertura de plátano como la más densa sembrada y que actualmente representa uno de los principales pilares económicos de la región.

Palabras claves: Análisis multitemporal, imágenes satelitales, usos y coberturas del suelo, clasificación supervisada.



ABSTRAC

The agricultural coverage extension and the demographic growth has caused changes related to coverage trends in the use of lands; these will be analyzed through the interpretation of the rural-urban area of the municipality of Armenia, Quindío, Colombia, during two periods of time between 1998 and 2015. Thus, this research points to implement a multitemporal analysis of satellite images and aerial photographs, taking into account the use of editing tools and geographic information systems in the classification and generation of statistics that allow to stablish a series of features to analyze the trends towards the change in coverage and use of land.

The analysis of historical and multitemporal references has shown that the coverage that has been most transformed during the period 1998-2015 is that of bamboo and forest with the loss of more than 70% of planted area, followed by the gradual decrease in coffee crops, while the coverage of urban land has gained a high percentage in area, obeying the demographic growth processes suffered by the municipality of Armenia, the plantain cover is also configured as the densest planted and which currently represents one of the main pillars of the region.

Key Words: Multi-temporal Analysis, Satellite Imagery, use and land cover, supervised classification



INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado de las ciudades provoca grandes efectos en sus regiones circundantes. Los inconvenientes en los cambios de coberturas y usos del terreno, creadas por una expansión rápida y no planificada, causan simultáneamente deterioro del ambiente e ineficiencia administrativa. Sin embargo, una acertada planificación basada en la forma en que se ocupa el territorio reduce los conflictos de usos del terreno y organiza la expansión urbana, minimizando los efectos sobre el medio.

Según Juppenlatz (1990) ha existido la tendencia a suponer que el progreso social y económico está asociado con la creciente urbanización y el desarrollo de las ciudades. Teniendo en cuenta que los cambios de coberturas y usos del terreno son procesos dinámicos, se requiere estudiar cómo suceden y cuáles son las repercusiones de la disminución de la cobertura boscosa, disminución en cantidad y calidad del recurso hídrico y suelo (CORPONARIÑO, 2008).

La continua intervención humana ha modificado los ecosistemas, buena parte de las coberturas y usos del terreno han sido urbanizadas con delicadas consecuencias en la pérdida de terrenos para la agricultura, con elevada concentración urbana de la población. Al respecto Lambin (1997) afirma que los ecosistemas terrestres han sufrido grandes transformaciones, la mayoría debido a la conversión de la cobertura del terreno y a la degradación e intensificación del uso. Desde que el ser humano se establece en una región, modifica su entorno al llevar a cabo actividades productivas o construcción de viviendas. Estos cambios producen importantes transformaciones en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas que pueden alterar la calidad de vida de las personas que se encuentran en él (SER, 2004). Según describe Rozzi (2001), fenómenos como la deforestación, el cambio climático y el crecimiento desordenado de la población ponen en peligro a las comunidades biológicas.

De acuerdo con Ruiz (2013), el análisis multitemporal permite detectar cambios entre diferentes fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre el ambiente. El medio para llevar a cabo los análisis son las imágenes satelitales, que determinan los cambios de cobertura, desde la estimación de pérdida de terreno, hasta los cambios que sufren las coberturas vegetales como consecuencia de un fenómeno natural o de origen antrópico.

La dinámica urbano-rural en el municipio de Armenia se ha caracterizado, en los últimos 20 años, por un debilitamiento de los criterios de planeamiento urbano y planeación económica de la ciudad, en favor de la lógica de la rentabilidad inmobiliaria como principal criterio orientador del crecimiento urbano. En este sentido, puede expresarse que son las relaciones de apropiación de los bienes las que han orientado la ocupación y conformación de la ciudad. Visto así, es



comprensible entonces por qué el proceso de construcción de la ciudad se produce como una suma de intereses privados y decisiones públicas que son las que moldean tanto la forma física como los modos de vida que operan en un determinado ámbito urbano-rural (Alcaldía de Armenia, 2008).

Lo anterior nos lleva a formular preguntas cuya respuesta contribuirá a mejorar la comprensión de las dinámicas frente al cambio de coberturas y usos del terreno en el municipio de Armenia.

¿Cuáles fueron las dinámicas de los cambios en coberturas y usos del terreno en el municipio de Armenia en el periodo de 1998 a 2015? ¿Cómo ha variado la proporción entre área urbana y rural en el municipio de Armenia? ¿Qué aspectos socioeconómicos pueden estar asociados a los cambios que se observan en los usos del terreno?



2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Discriminar los cambios en coberturas y usos del terreno que posibiliten la comprensión de las transformaciones ambientales del territorio urbano y rural en el municipio de Armenia, Quindío.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las coberturas de suelo en el municipio de Armenia para los años 1998 y 2015 mediante referentes multitemporales.
- Documentar el contexto histórico socioeconómico del municipio de Armenia, como determinante de transformaciones ambientales del territorio.
- Evaluar los cambios en la cobertura del suelo entre 1998 y 2015 de acuerdo con referentes históricos y multitemporales.



3. MARCO TEÓRICO

3.1 COBERTURA DEL TERRENO

De acuerdo con Ellis (2007), el término cobertura del terreno se refiere a la cubierta física y biológica sobre la superficie de la tierra; son las características físicas de la superficie del terreno determinadas por lo biótico y abiótico (vegetación, presencia de estructuras construidas) e incluyen agua, vegetación, suelo desnudo, y/o estructuras artificiales; mientras que los usos del suelo tienen una connotación con las actividades humanas, describen las funciones económicas y sociales del terreno y están determinadas por los propósitos activos y pasivos del manejo y los beneficios no materiales.

El estudio de las causas, los procesos y las consecuencias del cambio del uso y la cobertura del terreno han sido abordados en diversas investigaciones para comprender problemas relacionados con el cambio ambiental global (Lambin, 1999). Así mismo, los estudios de suelo proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de degradación del suelo, deforestación, desertificación y la pérdida de la biodiversidad de una región determinada. El desbalance observado entre los hábitats humanos en su interacción con los hábitats naturales ha sido determinante para concebir esta relación como preocupante por las alteraciones en la biodiversidad y funciones ecológicas que ponen en riesgo la sustentabilidad.

3.2 COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal del suelo queda definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisiológicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. La causa más severa de los cambios en la biodiversidad global, es el cambio en el uso del terreno, la transformación más notable de hábitat ha sucedido principalmente durante la segunda mitad del siglo XX. Chapin III (1997), define que las dos tendencias ecológicas más dramáticas en el último siglo, son los cambios inducidos por la actividad humana en la diversidad biótica, y las alteraciones a la estructura y funcionamiento de los ecosistemas.

En concordancia con Lambin (1997), podemos reconocer que las transformaciones ocasionadas por el crecimiento urbano nos permiten conocer los cambios en el paisaje a lo largo del tiempo. La importancia de la interrelación entre los factores humanos y biológicos permite dar cuenta que los principales cambios en los ecosistemas terrestres se deben a la conversión de la cobertura de suelo, a la degradación de la que es objeto el suelo y la intensificación en el uso del suelo.



3.3 USO DEL TERRENO

El término uso del terreno se utiliza para denotar una clasificación de las actividades humanas que ocupan una superficie de suelo, según Garrain (2007) el uso del terreno, ya sea para agricultura, recursos forestales, recursos mineros, construcciones de viviendas, industria, infraestructuras, pastoreo, etc, conlleva a impactos medioambientales sustanciales, particularmente los que afectan a la biodiversidad y a la calidad del mismo.

Para Bocco (2001), el uso del terreno se refiere al resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan (o desarrollaron) sobre una cobertura. Estas actividades se relacionan con la aparición de recursos naturales para la generación de bienes y servicios. La modificación del uso del terreno debido a las actividades humanas ha provocado una pérdida generalizada de la biodiversidad mundial, ha desencadenado procesos de degradación ambiental y ha contribuido de manera significativa al cambio climático así como al calentamiento global.

El término uso del terreno se refiere al instrumento de carácter técnico normativo que determina el uso en función de sus limitantes, potencialidades y según las posibilidades y costumbres de los habitantes del territorio, que se termina evaluándose con su ubicación cartográfica. De acuerdo con el IGAC (2007) esta determinación lleva a la clasificación de una serie de categorías como suelo urbano, urbanizable y no urbanizable y suelo rural, con subcategorías como agrícola, forestal, conservación, silvopastoril, agrosilvopastoril, silvoagrícola. Para cada categoría se definen las reglas de intervención, de uso y recomendaciones de manejo. La metodología para evaluar el uso del terreno implica determinar el uso potencial, el uso actual y los conflictos de uso.

3.4 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Glennon (2006), define los SIG como un software computacional que vincula información geográfica (dónde están las cosas) con información descriptiva (qué son esas cosas) y a diferencia de un mapa plano en papel, donde lo que se ve es lo que se puede obtener, un SIG representa muchas capas con distinta información a través de mapas digitales mucho más fáciles de manejar que los mapas en papel.

Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta informática que sirve para ingresar, almacenar, gestionar, recuperar, actualizar, analizar y producir información, sus datos están relacionados con las características de los lugares o zonas geográficas, permitiendo conocer qué cosas se encuentran en una ubicación dada.



Como un SIG¹ cuenta con datos provenientes de estudios socioeconómicos, ambientales y topográficos, sirve para aplicaciones diversas, desde la arqueología y la oceanografía hasta aplicaciones de índole económica como la comercialización o las actividades inmobiliarias, los servicios públicos como una compañía telefónica o un sistema bancario que administran o manejan su infraestructura física con una base de datos de SIG, como los registros catastrales de los sistemas de tenencia de la tierra, o en disciplinas aplicadas como la ordenación de los recursos o la comercialización y, en lo más conocido, que es la utilización de mapas digitales para los censos y la divulgación de los datos estadísticos de la ONU² (ONU, 2000).

3.5 SENSORES REMOTOS

Los sensores remotos son usados como instrumento para la obtención de información valiosa en los sectores público y privado, con base en las investigaciones que involucran fenómenos geofísicos y atmosféricos, por ejemplo, el clima en las predicciones meteorológicas. De acuerdo con Schowengerdt 1997 un sensor remoto es el conjunto de dispositivos que aprovechan el reflejo de la luz de un objeto en la superficie de la tierra para capturar sus propiedades espectrales, lo cual se logra por medio de mediciones hechas desde aviones y satélites. Estas medidas son datos obtenidos a distancia que quedan capturados en fotografías aéreas o imágenes satelitales.

Las fotografías aéreas capturan datos del terreno con alta resolución, dependiendo de la distancia a la superficie desde el avión, pero son costosas y el área que cubren para una investigación a gran escala normalmente no se encuentra disponible en su totalidad, excepto para estudios locales. Las imágenes satelitales, se eligen según los fines de la investigación, las fuentes disponibles para su procesamiento, el grado de experticia del intérprete y los costos que acarrea.

3.6 UNIDAD MÍNIMA DE MAPEO

La unidad mínima de mapeo hace referencia a la unidad cartografiada o dibujo más pequeño, que se puede apreciar a determinada salida gráfica. Por norma cartográfica esta debe ser similar al área de un cuadrado de medio centímetro por medio centímetro (0.5 cm x 0.5 cm) para que se pueda distinguir o diferenciar en el mapa impreso de salida a la escala de trabajo escogida. Esta guarda estrecha relación con la escala de trabajo o escala de captura de la información, que para el caso de la escala 1:100.000 corresponde con 25 hectáreas o 0,25 Km².

3.7 IMÁGENES SATELITALES

Las imágenes satelitales por si solas no pueden brindar la información que sea requerida, para extraerla, organizarla, procesarla, interpretarla y llevarla a un mapa

¹ Sistema de Información Geográfica.

² Organización de las Naciones Unidas.



digital o análogo. Previamente es necesario planear para las imágenes la elección de la resolución más adecuada que según Goodchild (1997), depende de las características de la escena y la variación deseada, del conocimiento previo de la zona de estudio y los niveles de referencia para la clasificación de los objetos en la imagen, así como la determinación de las variables que deben ser involucradas y las relaciones existentes entre ellas mismas para obtener la información precisa y apropiada, lo cual es posible gracias a los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3.8 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES SATELITALES

Un análisis multitemporal de imágenes satelitales consiste en evaluar o analizar comparativamente dos o más imágenes de la misma zona para épocas diferentes. En concordancia con Correa y Munera (2003), este tiene muchas aplicaciones en el estudio de los Recursos Naturales, una de las cuales es la detección de los cambios que sufren las diferentes coberturas vegetales por la intervención del hombre en una determinada área, permitiendo así un monitoreo continuo sobre áreas de interés y la interpretación de los posibles conflictos en el uso del suelo.

3.9. METODOLOGÍA CORINE LAND COVER.

Teniendo en cuenta el estudio “Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena Cauca”, se define la metodología CORINE LAND COVER, proyecto europeo creado en 1990, donde se definió un sistema de clasificación y una metodología específica para realizar el inventario de las coberturas de la tierra, como soporte a la toma de decisiones en políticas relacionadas con el medio ambiente y el ordenamiento territorial, definiendo una metodología específica para realizar el inventario de coberturas de la tierra, constituyéndose en soporte para la toma de decisiones en políticas relacionadas con el medio ambiente y el ordenamiento territorial; aplicándose hoy en día en la totalidad del territorio europeo. en Colombia se desarrolló dentro del programa de apoyo y la colaboración prestada por el Fondo Francés para el Medio Ambiente (FFEM), la Embajada de Francia en Colombia, el Instituto Geográfico Nacional de Francia (ING) y ONF Andina Colombia, con el fin de promover una metodología unificada y estandarizada para el contexto colombiano en relación a coberturas de la tierra.

La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a escala 1:100.000. Como principal resultado el país cuenta con la "Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra Metodología CORINE LAND COVER adaptada para Colombia"



3.10 SÍNTESIS Y DEFINICIÓN DE USOS DE SUELO SEGÚN LA LEYENDA CORINE LAND COVER

3.10.1 Territorios Artificializados

Comprende las áreas de las ciudades, las poblaciones y aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos

3.10.1.1 Tejido Urbano Continuo

Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente cubren as del 85% de la superficie del terreno. La vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del tejido urbano. La superficie de la unidad debe ser superior a 5 hectáreas.

3.10.2 Territorios Agrícolas

Son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sean que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación, descanso o barbecho. Comprende las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pasto y las zonas agrícolas heterogéneas, las cuales, se pueden dar usos pecuarios además de los agrícolas.

3.10.2.1 Cultivos Transitorios

Comprenden las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año, llegando incluso a ser de son unos pocos meses, como por ejemplo los cereales (maíz, trigo, cebada y arroz), os tubérculos (papa y yuca), las oleaginosas (ajonjolí y algodón), la mayor parte de las hortalizas y algunas especies de flores a cielo abierto. Tienen como característica principal que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo

3.10.2.2. Cultivos Permanentes

Comprende los territorios dedicados a cultivos cuyo ciclo productivo es mayo a un año, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar; se incluyen en esa categoría los cultivos de herbáceas como caña de azúcar, caña papelera, plátano y banano; los cultivos arbustivos como café y cacao y los cultivos arbóreos como palma africana y árboles frutales

3.10.3 Pastos

Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística nominada principalmente por la familia Poaceae, dedicadas a pastoreo permanente por un periodo de dos o más años. Algunas de las categorías pueden presentar



anegamientos temporales o permanentes cuando estas ubicadas en zonas bajas o en depresiones del terreno. Una característica de esta cobertura es que en un alto porcentaje su presencia se debe a la acción antrópica, referida especialmente a su plantación, con la introducción de especies no nativas principalmente, y en el manejo posterior que se le hace

3.10.4 Áreas Agrícolas Heterogéneas

Son unidades que reúnen dos o más clases de coberturas agrícolas y naturales, dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricos, que hace difícil su separación y coberturas individuales, los arreglos geométricos están relacionados con el tamaño reducido de los predios, las condiciones locales del suelo, las prácticas de manejo utilizadas y las formas locales de tenencia de la tierra.

3.10.5 Bosques

Comprende las zonas naturales o seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal, que tienen una copa más o menos definida. De acuerdo con la FAO (2001) esta cobertura comprende los bosques naturales tales como la palma y la guadua.

Los bosques son determinados por la presencia de árboles que deben alcanzar una altura de dosel superior a los 5 metros. Para su diferenciación los bosques son clasificados con tres criterios fisionómicos estructurales fácilmente observables en sensores remotos, como son la densidad y la altura, y un elemento interpretable del terreno que se puede inferir del sensor, como es la condición de drenaje.

3.10.6 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva

Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo natural y producto de la sucesión natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, con poca o ninguna intervención antrópica.

3.10.7 Áreas abiertas sin o con poca vegetación

Comprende aquellos territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos, algunos de los cuales pueden estar cubiertos por hielo y nieve.

3.10.8 Áreas húmedas

Comprende aquellas coberturas constituidas por terrenos anegadizos, que pueden ser temporalmente inundados y estar parcialmente cubiertos por vegetación acuática, localizados en los bordes marinos y al interior del continente.



3.10.9 Superficies de aguas

Son los cuerpos y causas de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el interior del continente y los que bordean o se encuentran adyacentes a la línea de costa continental.

3.10.9.1 Aguas Continentales

Son los cuerpos y causas de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, que comprende lagos, lagunas, ciénagas, depósitos y estanques naturales o artificiales de agua dulce (no salina), embalses y cuerpos de agua en movimiento como los ríos y canales.

3.11 CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

Según (Chuvienco, 1995) la clasificación supervisada, parte de un cierto conocimiento de la zona de estudio, adquirido por experiencia previa o por trabajos de campo, permitiendo al interprete delimitar sobre la imagen unas áreas piloto, que se consideran suficientemente representativas de las categorías que componen la leyenda.

3.12 COMPOSICIÓN DE BANDAS ESPECTRALES

A continuación, se presenta la descripción de cada una de las bandas espectrales que componen las imágenes satelitales.

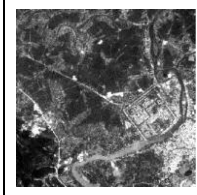
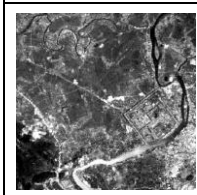
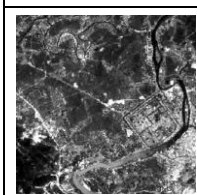
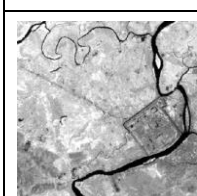
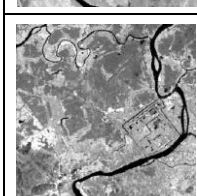
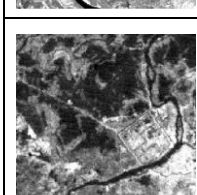
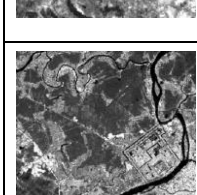
| | |
|---|--|
|  | <p>Banda 1 (0.45-0.52 μm, azul-verde) Esta longitud de onda corta de luz penetra mejor que las otras bandas, y a menudo es la banda de elección para monitorear ecosistemas acuáticos (mapeo de sedimentos en agua, hábitats de arrecifes de coral, etc.). Desafortunadamente esta es la "más ruidosa" de las bandas de Landsat ya que es más susceptible a la dispersión atmosférica.</p> |
|  | <p>Banda 2 (0.52-0.60 μm, verde) Esto tiene cualidades similares a la banda 1 pero no tan extremas. La banda fue seleccionada porque coincide con la longitud de onda del verde que vemos cuando miramos la vegetación.</p> |
|  | <p>Banda 3 (0.63-0.69 μm, rojo) Como la vegetación absorbe casi toda la luz roja (a veces se denomina banda de absorción de clorofila), esta banda puede ser útil para distinguir entre vegetación y suelo y para controlar la salud de la vegetación.</p> |
|  | <p>Banda 4 (0.76-0.90 μm, infrarrojo cercano) Como el agua absorbe casi toda la luz en esta longitud de onda, los cuerpos de agua aparecen muy oscuros. Esto contrasta con la reflectancia brillante del suelo y la vegetación, por lo que es una buena banda para definir la interfaz agua / tierra.</p> |
|  | <p>Banda 5 (1.55-1.75 μm, infrarrojo medio) Esta banda es muy sensible a la humedad y, por lo tanto, se usa para controlar la vegetación y la humedad del suelo. También es bueno para diferenciar entre nubes y nieve.</p> |
|  | <p>Banda 6 (10.40-12.50 μm, infrarrojo térmico) Esta es una banda térmica, lo que significa que puede usarse para medir la temperatura de la superficie. Banda 6 se usa principalmente para aplicaciones geológicas, pero a veces se usa para medir el estrés térmico de la planta. Esto también se usa para diferenciar las nubes de los suelos brillantes ya que las nubes tienden a ser muy frías. La resolución de la banda 6 (60 m) es la mitad de las otras bandas.</p> |
|  | <p>Banda 7 (2.08-2.35 μm infrarrojo medio) Esta banda también se usa para la humedad de la vegetación, aunque generalmente se prefiere la banda 5 para esa aplicación, así como para el mapeo geológico y del suelo.</p> |

Ilustración 1. Tipos de bandas espectrales.
Elaboración propia

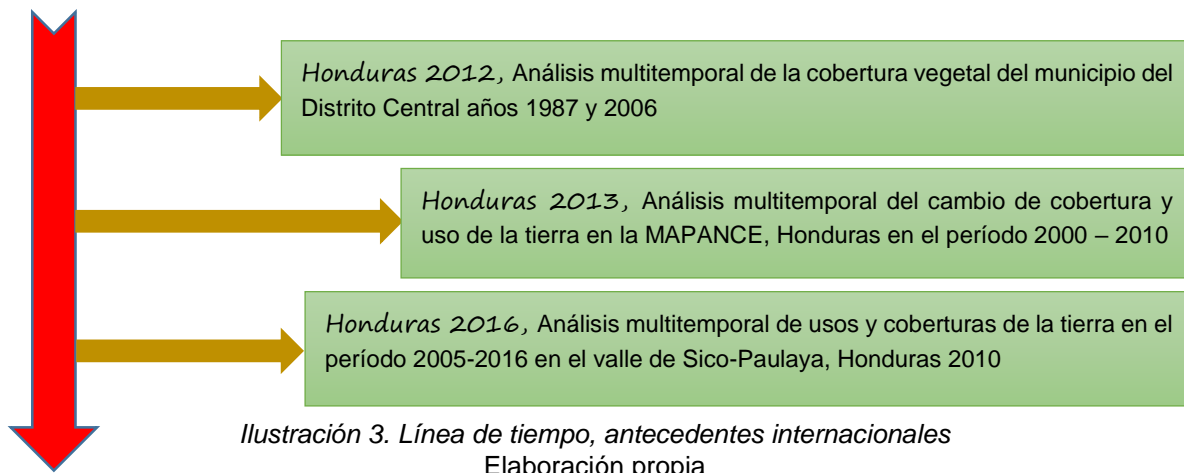
4. ANTECEDENTES

En la *Ilustración 2. Línea de tiempo, antecedentes nacionales.* Ilustración 2, se presenta una línea de tiempo con los antecedentes de estudios realizados en Colombia.



Ilustración 2. Línea de tiempo, antecedentes nacionales.
Elaboración propia

La Ilustración 3 presentan algunos estudios realizados a nivel internacional.



Las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se relacionan cronológicamente los documentos y estudios nacionales e internacionales acerca de análisis multitemporales, tenidos presentes para la realización de esta investigación, posteriormente se mencionan los trabajos más destacados.

Análisis multitemporal del retroceso glaciar en la sierra Nevada de Santa Marta Colombia para los periodos de 1986, 1996, 2007 y 2014, La presente investigación se llevó a cabo, en la Sierra Nevada de Santa Marta, en la Región Caribe, ubicada al noroccidente de Colombia, para cuatro periodos de tiempo (1986, 1996, 2007, 2014).

Para lograr los objetivos se comparó algunas de las diferentes técnicas de procesamiento digital de imágenes como: Componentes principales, clasificación supervisada y no supervisada, de esta manera mediante el uso de imágenes multiespectrales de los sensores TM y OLI A bordo de los satélites LANSAT 5 Y LANDSAT 8, se determino la perdida en area y porcentaje del glaciar de la sierra nevada de santa marta.

Asi mismo, estos metodos de procesamiento digital de imágenes fueron comparados y validados con el coeficiente Kappa, con el fin de identificar y mostrar la mejor metodologia. Con este resultado se relaciono un modelo matematico mediante, series de tiempo y regresiones lineales que permitio evaluar el comportamiento futuro del glaciar.



Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del municipio del Distrito Central años 1987 y 2006, El presente estudio analiza los cambios ocurridos en la cobertura vegetal del Municipio del Distrito Central mediante análisis multitemporal de las dinámicas de cambio sobre la cobertura de la tierra durante un intervalo de tiempo de 18.22 años. Se utilizó dos imágenes satelitales TM y ETM+, años 1987 y 2006 obtenidas por los sensores Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+, para interpretación y clasificación digital no supervisada de la cobertura del suelo e identificar las principales coberturas del suelo existentes en ambos años, se logró la clasificación en siete clases para dos, Bosque de Coníferas, Bosque Mixto y Matorrales. La Cobertura no Vegetal hace referencia a las clases: Suelo Desnudo, Cuerpos de Agua y Urbano.

Los resultados muestran que desde el año 1987 al 2006, más del 50% de las clases establecidas en la clasificación no supervisada sufrieron pérdidas en su área, estas son: Bosque Latifoliado 1,443.93 ha, Bosque Mixto 3,043.20 ha, Bosque de Coníferas 38,383.16 ha, Suelo Desnudo 4,702.16 ha; en las clases restantes Matorral, Cuerpos de Agua y Urbanos ocurrió incrementó en sus áreas respecto al valor que poseían en el año 1987 con: Matorral 35,788.50 ha, Cuerpos de Agua (embalses Los Laureles y La Concepción) 2,495.70 ha y Urbano 9,288.27 ha.

Estudio multitemporal de imágenes satelitales con fines de delimitación del complejo bajo san Jorge margen izquierdo (b13) y diagnóstico de zonas intervenidas entrópicamente (agricultura y ganadería), Los complejos de humedales, localizadas en la Depresión Momposina, presentan valores ecológicos y ambientales de importancia regional y nacional. Que en la actualidad son subvalorados lo que conlleva a una mala intervención sobre ellos que desconoce la dinámica funcional de estos ecosistemas.

En este trabajo la delimitación de la intervención antrópica (agricultura y ganadería) en las ciénagas que conforma el complejo bajo San Jorge margen Izquierdo (b13), determinado los componentes principales que intervienen en la alteración del régimen natural de los cuerpos de agua de la región. Un aspecto en los complejos de humedales en la delimitación y caracterización espacial de los diferentes elementos funcionales. El uso de sistemas de información geográfica (SIG), es una gran herramienta para el almacenamiento, análisis y manipulación de información que es referenciada a situación geográfica, en el establecimiento de las áreas de las ciénagas el uso de un SIG facilita su estudio. Así mismo, se establecen indicadores de la hidrología en la ciénaga y ríos, tales como de drenaje y predicciones e flujo de entrada y salida. Sirviendo además como soporte de mapeo para el cálculo y delimitación de áreas.

Análisis multitemporal del retroceso glaciar de la Sierra Nevada del Cocuy ubicada en los departamentos de Boyacá y Arauca entre los años 1992, 2003



y 2014, Este proyecto se basa en realizar el estudio y el análisis del comportamiento glaciar de la sierra nevada de El Cocuy con el fin de determinar una estimación de la pérdida glaciar a partir de imágenes satelitales Landsat obtenidas para los años 1992, 2003 y 2014, lo cual permite analizar el comportamiento de la regresión glaciar en un periodo total de 22 años y parcial en un intervalo de cada 11 años. Debido a los cambios climáticos que se han presentado en nuestro planeta, los glaciares de nuestras montañas se han ido perdiendo, a partir de estudios y de aplicaciones de la Geomática y el uso de imágenes satelitales han permitido determinar el área de deshielo del glaciar, en base a estos estudios se quiere determinar el comportamiento glaciar del nevado del Cocuy utilizando herramientas de software como PCI Geomatics y ArcGis, con el objetivo de establecer y clasificar firmas espectrales aplicando conocimientos de interpretación de imágenes, teledetección, Geomática y demás utilizando metodologías de corrección atmosférica, clasificación supervisada, filtros y diferentes algoritmos, obteniendo así la clasificación espectral convirtiéndola en datos vectoriales para calcular el área glaciar y por último realizar estadísticas de su comportamiento y dar el resultado del porcentaje de área de pérdida glaciar del nevado del Cocuy en los últimos años.

Análisis superficial y multitemporal de imágenes LANDSAT 7 ETM+ Y LANDSAT 8 OLI TIRS en el proyecto carbonífero la Luna entre los años 2001

y 2015, El análisis de imágenes satélites ha ayudado a entender el entorno en el que nos encontramos, este trabajo se desarrolló para interpretar este tipo de información a partir de la ayuda de los programas SIG, los cuales son una herramienta importante para decodificar y entender este tipo de información con la cual podemos tomar de decisiones a futuro de una zona o área de estudio.

El preprocesamiento y procesamiento de las dos imágenes Landsat utilizadas para el análisis multitemporal, se realizaron utilizando programas como ArcGIS, ENVI, ILWIS, ERDAS. Las correcciones radiométricas y atmosféricas de la imagen Landsat 8 OLI TIRS se realizaron con la herramienta GEOBIA creada para la plataforma de ESRI, permitiendo incorporar la imagen pancromática para mejorar la resolución espacial. Para imagen Landsat 7 ETM+ se aplicaron las herramientas del programa ENVI, en esta plataforma permite integrar la imagen pancromática pero no es un requisito para el resultado final. En la plataforma ILWIS se realizaron ejercicios de correlación de información de las distintas bandas del espectro electromagnético de cada imagen.

Al comparar las distintas coberturas, resultado de los distintos procesos de clasificación de las imágenes Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI TIRS, se pueden observar cambios en la utilización del suelo del área de estudio por actividades antropológicas, esto conlleva a pérdida de bosque nativo ya sea por el desarrollo agropecuario u operaciones mineras. Para reconocer la distinta composición



mineralógica y la relación de los suelos (depósitos Cuaternarios) con las distintas formaciones geológicas en el área de estudio, se aplicó la metodología Band Ratio, que permitió clasificar zonas de mineralización ferrosa relacionada con la Unidad Informal Cuesta, las zonas de transición que contienen minerales ferrosos con material arcilloso y limo-arcilloso re-trabajado de la formación Los Cuervos, esta última de gran importancia porque es la unidad rocosa que alberga los mantos de carbón en toda la zona.

Análisis multitemporal de la expansión urbana de la ciudad de Popayán, Cauca entre los años 1989, 2002 y 2014, El crecimiento urbano de las diferentes ciudades colombianas se viene presentando de manera desorganizada y sin lineamientos de planificación urbana en la mayoría de las ciudades y municipios del territorio nacional. Es así como el objetivo principal del proyecto consistió en el análisis de la expansión urbana de la ciudad de Popayán, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat de los años 1989, 2002 y 2014 codificando cuatro aspectos primordiales en el comportamiento expansivo como son: cobertura vegetal, construcciones o edificaciones, red hídrica e infraestructura vial y evaluando la expansión urbana.

La metodología implementada consiste en producir clasificaciones supervisadas de imágenes Landsat multiespectrales y pancromáticas, efectuando composiciones que determinan las modificaciones en el tiempo (25 años) y en el espacio del área seleccionada, usando software especializados para este fin; por último, se establecen estrategias y recomendaciones que contribuyan al desarrollo regional optimizando los recursos y desarrollo sostenible de la ciudad de Popayán.

Análisis multitemporal por medio de clasificación supervisada de imágenes landsat del parque entre nubes de la ciudad de Bogotá para identificar corredores ecológicos, El Parque Metropolitano Entre Nubes, se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá, entre las localidades de San Cristóbal y Usme y se componen por los Cerros Juan Rey, La Cuchilla y Guacamayas. Se debe mencionar que este parque metropolitano es el esfuerzo de la Secretaria Distrital de Ambiente en sus pretensiones de generar un amplio espacio de gran valor ecológico para la Ciudad de Bogotá.

Teniendo en cuenta que muchas de las zonas del parque metropolitano fue invadida de Retamo Espinoso (*Ulex europaeus*), en este trabajo se realizara un análisis multitemporal teniendo como insumo dos (02) imágenes del satélite Landsat 7 y 8 de los años 1999 y 2015 respectivamente, a las cuales se les deberá realizar una corrección atmosférica seguida de la clasificación de sus coberturas por medio del programa PCI Geomática, con el apoyo de la ortofoto (2014) de Catastro Distrital,



el fin será determinar las coberturas de importancia ecológica y ambiental conectores ecológicos debido a los procesos de re naturalización.

Estudio multitemporal para la determinación de cambios en el uso del suelo en el complejo de páramos Tota - Bijagual - Mamapacha para el periodo 1992 – 2012,

Debido al alto grado de intervención presentado en el complejo de páramos Tota – Bijagual –Mamapacha y en respuesta a la necesidad de desarrollar herramientas que permitan el adecuado monitoreo de esta situación, fue ejecutado el presente estudio multitemporal utilizando técnicas de Teledetección, con el objetivo de determinar las tendencias de cambio en el uso del suelo en dicha región para el periodo comprendido entre 1992 y 2012. Para esta labor fueron utilizadas imágenes Landsat 4 TM y Landsat 7 ETM tomadas en el rango temporal definido, las cuales fueron tratadas a partir diversas técnicas de procesamiento digital de imágenes, para ser posteriormente interpretadas siguiendo la metodología de clasificación de coberturas CORINE LAND COVER adaptada para Colombia.

Como resultado final se obtuvieron los respectivos mapas temáticos con la identificación de las coberturas presentes en cada periodo estudiado. Adicionalmente, la información resultante del producto anterior fue analizada a nivel de pérdidas, ganancias y grado de estabilidad para cada cobertura, proceso que permitió determinar en términos de áreas y porcentajes las tendencias evolutivas del uso del suelo en la región.

Análisis multitemporal de la dinámica en el cambio de uso de la tierra en Manizales durante el período 1969 – 2015 estudio de caso: comuna Ciudadela del Norte, Manizales,

En la actualidad, la formulación de los Planes de Ordenamiento Territorial ha sido guiada de forma parcial a algunos aspectos que se pueden considerar críticos para la formulación de los planes del gobierno a nivel municipal, sin que ello represente de manera realista la convergencia entre todos Los factores que deben ser contemplados y más aún los efectos y causas que pueden derivarse de su interacción. La Teledetección, utilizada como herramienta de análisis geográfico, permite una visión estratégica a través de un enfoque detallado y previsto de los cambios que se producen en el territorio, lo que permite un enfoque integral georreferenciado. De ahí que lo que busca el presente trabajo es ofrecer alternativas para un uso planificado del territorio a través de una visión más prospectiva que alberga una gestión racional y concertada del mismo y, la posibilidad de predecir condiciones de intervención más fiables.

Análisis multitemporal del cambio de cobertura y uso de la tierra en la MAPANCE, Honduras en el período 2000 – 2010,

En este estudio se evaluó los cambios en el uso y la cobertura de la tierra ocurridos entre el 2000 y 2010 en el



área de la Mancomunidad de Municipios del Parque Nacional Montaña de Celaque (MAPANCE), occidente de Honduras. La MAPANCE es el área de influencia del Parque Nacional Montaña Celaque (PNMC) ya que se beneficia directamente del agua producida en el parque. El análisis se realizó con base en imágenes satelitales Landsat para dichos años y se evaluaron los cambios de cuatro clases del uso y la cobertura de la tierra: bosque latifoliado, bosque coníferas y bosque mixto, zona agropecuaria y área urbana. Se utilizó la metodología de clasificación supervisada mediante el programa ENVI 4.7 y ArcGIS 9.3. Los cambios de cobertura surgidos en los diferentes períodos se evaluaron según la matriz de transición de Pontius y la tasa anual de deforestación se determinó mediante la ecuación de Puyravaud. Los resultados indican que entre los años 2000 y 2005, en la MAPANCE, el bosque de coníferas y mixto perdió un total de 4,449 ha. Se determinó que el mayor cambio de cobertura total (14,420 ha) y la mayor tasa anual de deforestación (1.08%) se dio en el municipio de Gracias. La menor tasa de deforestación en el PNMC fue de Corquín con 0.61%. La tasa anual de deforestación del PNMC fue de 1.72% en el periodo de 2000 – 2005, mientras que para el período del 2005 – 2010 hubo una tasa anual de reforestación de 4.36%.

Análisis multitemporal de usos y coberturas de la tierra en el período 2005-2016 en el valle de Sico-Paulaya, Honduras, Este estudio se centra en el valle de Sico-Paulaya ubicado en Iriona, Colón, Honduras. Principalmente, en esta zona se ubican actividades agrícolas y ganaderas que se han ido expandiendo con el tiempo. A pesar de algunas acciones de manejo forestal, muchas áreas boscosas se han reducido y algunas fuentes hídricas han sido afectadas. El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios de usos y coberturas de la tierra ocurrida en el período 2005-2016 en el valle de Sico-Paulaya. En primer lugar, se realizó una clasificación supervisada de usos y coberturas usando las imágenes satelitales Landsat 7 y 8, estas fueron procesadas por medio del programa ENVI 4.7® y ArcGIS 10.3®. Se obtuvieron cinco categorías de usos y coberturas entre ellas están el bosque latifoliado, pastizales, agricultura, matorrales y áreas urbanas. Los cambios ocurridos entre los años 2005 y 2016 se evaluaron mediante la matriz de Pontius. Los resultados indican que la cobertura con mayor pérdida es el bosque latifoliado con 8,122.86 ha de cambio neto, esto se atribuye principalmente a la expansión del área de pastizales que cambió de 5,569.74 ha a 14,505.75 ha entre los años 2005 y 2016. Por otro lado, usando la ecuación de Puyravaud se estimó una tasa de deforestación para el valle de -4.6% en los últimos 11 años.

Análisis multitemporal de la expansión urbana del municipio de Santiago de Cali, Colombia, Debido al crecimiento acelerado y desordenado que se presenta en Santiago de Cali se realiza este estudio, cuyo objetivo principal es analizar la



transformación del uso del suelo urbano del municipio, mediante el análisis multitemporal de las dinámicas de cambios sobre las coberturas del suelo para los años 1986, 1998 y 2014. Para el desarrollo de este estudio se utilizó como insumo 3 imágenes de satélite de los sensores Landsat 5 Mss de 1986, Landsat 5 TM de 1998 y Landsat 8 OLI_TIRS de 2014, a las cuales se les realizó el tratamiento digital, para la interpretación y clasificación supervisada de las coberturas del suelo clasificadas en 3 clases; Cobertura Vegetal, Urbano y Cuerpos de Agua.

Los resultados obtenidos en el periodo de tiempo del año 1986 a 1998 muestran que hubo un incremento en el área de la cobertura Urbano de 1252.68 Ha y en el periodo de 1998 a 2014 fue de 1503.92 Ha, viéndose reducida considerablemente la cobertura vegetal representada en cultivos, bosques y pastos. Donde la tasa anual de cambio correspondiente al total del área urbana es de 0.9845 Km/año indicando ganancia de área.

5. METODOLOGIA

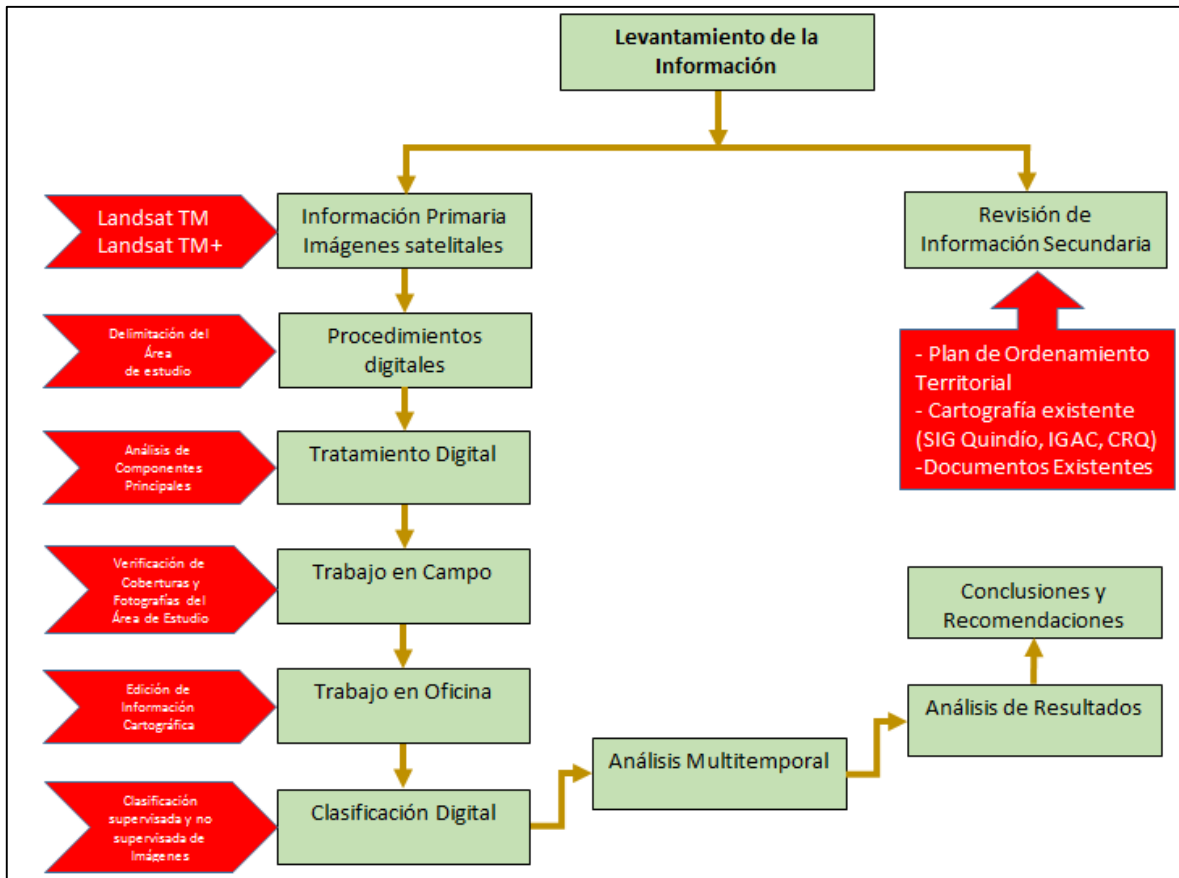


Ilustración 4. Diagrama Metodológico
 Elaboración propia

La Ilustración 4, muestra el esquema metodológico aplicado durante el proceso de investigación.

5.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

El análisis multitemporal de cambios en coberturas y usos del terreno se ha llevado a cabo en el área urbano-rural del municipio de Armenia, departamento del Quindío, Colombia. Armenia se sitúa a 1.483 metros sobre el nivel del mar y con una temperatura media de 20°C. El municipio cuenta con una extensión total de 121.43 km², siendo 22.53 km² su área urbana (19.25%) y 98.90 km² (80.75%) la rural. Cuenta en su división política con 10 comunas, 24 veredas y un corregimiento (el Caimo) (Alcaldía de Armenia, 2008).

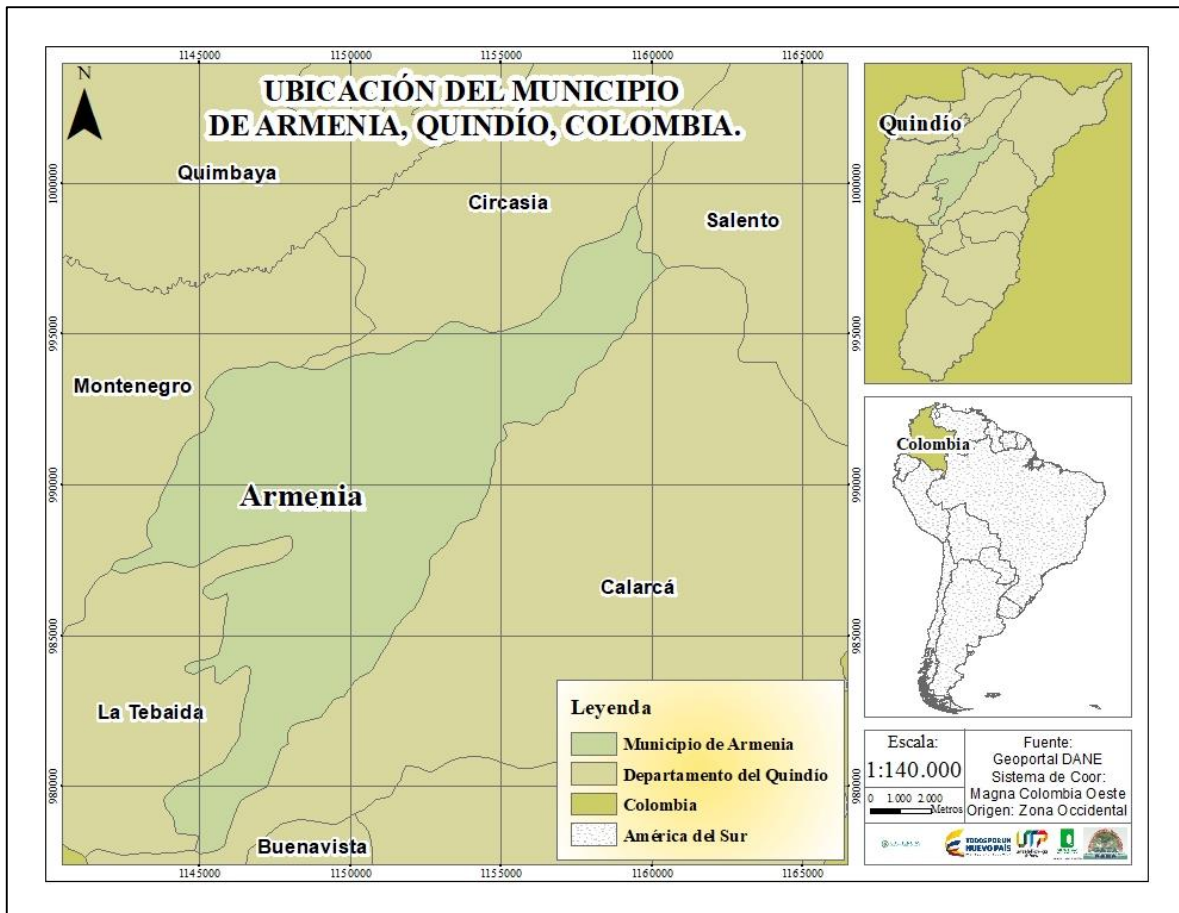


Ilustración 5. Ubicación del municipio de Armenia, departamento del Quindío.
Elaboración propia

El censo del 2005 estimó como población del municipio de Armenia 272.574 habitantes, de los cuales el 97.23% residen en el casco urbano y el restante 2.77% en el área rural, con 13.348 hab/km² en el perímetro urbano y 68 hab/km² en el área rural, evidenciando una de las densidades poblacionales más altas del país 2.223 hab/km².

En la totalidad del municipio existen 4.458 hectáreas clasificadas como suelo de protección ambiental equivalentes al 36.4% del área. El área urbanizada tanto en el suelo urbano como el suelo rural es de 820 hectáreas, equivalente al 6.7 % del área total del municipio (Alcaldía de Armenia, 2008).

Armenia representa cerca del 52% de la población, y por tanto aproximadamente el 60% de la dinámica económica, productiva y empresarial y más del 70% del empleo urbano, la ciudad presenta una plataforma territorial atractiva y condiciones de inserción a los mercados nacionales y mundiales que explican buena parte de las características competitivas del territorio del Quindío. (Alcaldía de Armenia, 2008).



5.2 REFERENTES MULTITEMPORALES.

Se realizó el análisis de 2 imágenes satelitales obtenidas de las bases de datos de USGS³, estas fueron escogidas de acuerdo con características de calidad y nitidez. También se debe tener en cuenta el porcentaje de nubosidad de la imagen, esta no debe sobrepasar el 15%, pues de lo contrario se perderá nivel de detalle, es importante mencionar que un pixel en la imagen corresponde a 30 metros en el plano.

Las imágenes seleccionadas corresponden a las siguientes fechas (20 de mayo 1998 y 20 de julio de 2015), es significativo que se guarde una secuencia o periodo similar entre los años a observar, solo de esta forma se apreciarán de manera eficiente los cambios en coberturas y usos del terreno. Los periodos para evaluar son seleccionados tomando en cuenta la calidad de imágenes halladas en la base de datos de USGS.

Posteriormente se le realizó a las imágenes un proceso de corrección atmosférica, radiométrica y geométrica para mejorarles la calidad, es importante tener en cuenta que no siempre las imágenes requieren correcciones, ya que dependen de la calidad y la nitidez con la que las bases de datos las proveen. Para llevar a cabo este proceso se utilizó el software ERDAS Imagine versión 9.3⁴.

Después de procesar las imágenes se realizó el análisis mediante el uso del software ArcGIS 10.2⁵ y se aplicaron las guías de inicio rápido, establecidas por GIF⁶ que consiste en trabajar las combinaciones de bandas Landsat⁷ teniendo en cuenta que cada una representa una parte diferente del espectro electromagnético. De acuerdo con los resultados obtenidos durante el análisis multitemporal se generaron tablas de atributos donde se caractericen las coberturas y usos del terreno, dando así la posibilidad de conocer datos específicos como área,

³ El Servicio Geológico de Estados Unidos, es una agencia científica del gobierno de los Estados Unidos de América.

⁴ Software geoespacial de creación estándar de la industria, centrado en procesamiento de imagen, teledetección y GIS raster. Fácil de aprender y usar, ERDAS IMAGINE es una completa colección de herramientas para crear una precisa base de imágenes y de productos derivados de imágenes para apoyar la toma de decisiones.

⁵ Es una completa plataforma de información que permite crear, analizar, almacenar y difundir datos, modelos, mapas basados en 3D, poniéndolos a disposición sus usuarios).

⁶ Geospatial Innovation Facility.

⁷ Son una serie de satélites construidos y puestos en órbita por EE. UU. para la observación en alta resolución de la superficie terrestre.



localización, estado, coordenadas, altitud entre otros. Es importante tener en cuenta que en este proceso se utilizó el software ArcGIS 10.2.

Posteriormente se generaron mapas que permitan ubicar espacialmente las dinámicas de cambio de coberturas y usos del terreno en diferentes periodos de tiempo, los cuales fueron seleccionados de acuerdo con las bases de datos generadas en USGS.

5.2.1 Preparación

Se adquiridos los insumos necesarios para el desarrollo del primer objetivo, para este fin, fue necesaria dividir el proceso en tres partes relacionadas con la recopilación de información secundaria, la búsqueda, selección y descarga de imágenes satelitales a utilizar.

5.2.1.1 Búsqueda de información secundaria

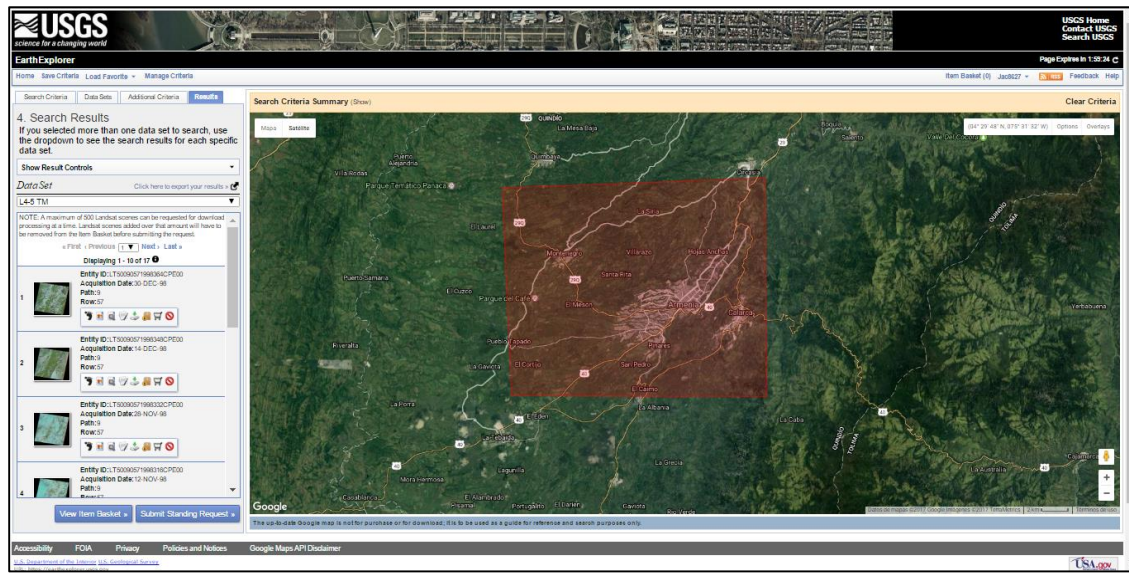
Teniendo en cuenta que para el desarrollo del siguiente trabajo no se contó con información primaria, de acuerdo que los periodos de tiempo a analizar no corresponden al presente año, se hace necesaria la búsqueda de referentes bibliográficos que permitan entender las dinámicas físicas, bióticas y sociales de la región que se han venido presentando frente al cambio en coberturas y usos del suelo.

De acuerdo con este escenario, fue recopilada información bibliográfica clasificada en dos categorías: a) Información relativa al cambio de coberturas y usos del suelo del municipio de Armenia, y b) Estado del arte referente al desarrollo de estudios multitemporales apoyados en técnicas de Teledetección. Esta información se presenta en el numeral 4. Antecedentes.

5.2.1.2 Selección y descarga de imágenes satelitales Landsat

Las imágenes satelitales Landsat utilizadas para el proceso fueron descargadas a partir del portal web de la U.S Geological survey (USGS), el cual dispone de una amplia base de datos histórica de imágenes obtenidas de los diferentes satélites Landsat con registros que llegan hasta la fecha. Para el caso particular del municipio de Armenia las imágenes descargadas corresponden al PATH 9 y ROW 57, cuya escena cubre totalmente el área de interés. Teniendo en cuenta la anterior característica, y dado el periodo de tiempo analizado, fueron seleccionadas como insumo dos imágenes Landsat correspondientes a los satélites Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI_TIRS tomadas el 20 de mayo de 1998 y el 20 de junio de 2015 respectivamente.

En la Ilustración 6, se puede observar el portal oficial de (USGS), donde se enmarca el área de interés.



*Ilustración 6. Portal USGS para descarga de imágenes Landsat.
Elaboración propia*

Otro parámetro de selección que se tomó en cuenta fue el índice de nubosidad, sabiendo que este influye directamente en la calidad de la imagen y en la identificación de coberturas, para este caso se tomaron en cuenta dos imágenes con el menor índice de nubosidad teniendo en cuenta que la ubicación geográfica del municipio de Armenia no favorece la captura de las mismas.

5.2.1.3 Composición de las imágenes descargadas

Las imágenes seleccionadas fueron descargadas del portal web de la U.S Geological survey (USGS) en un formato comprimido en el cual las bandas que componen a cada imagen se encuentran separadas. De este modo, fue necesario realizar el respectivo proceso de composición mediante un software llamado ERDAS Imagine 2014, del cual se adquirieron dos imágenes multiespectrales, la escena tomada el 20 de mayo de 1998 esta compuestas por siete bandas espectrales, mientras que la escena adquirida en 20 de junio de 2015 se compone de ocho bandas correspondientes al espectro visible y al infrarrojo cercano, medio y lejano.

De acuerdo con las consideraciones anteriores, en la Tabla 1 se presenta un resumen de las principales características de las imágenes seleccionadas.

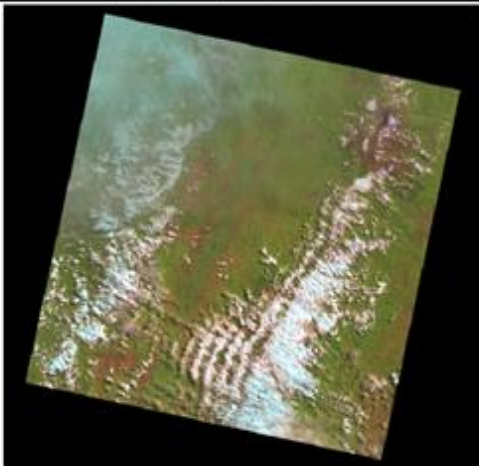
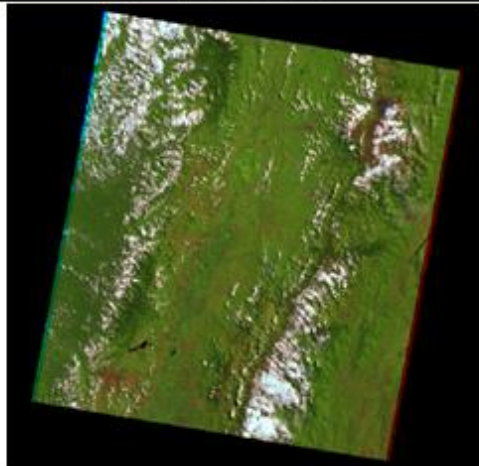
| Imagen Landsat 8 OLI_TIRS 2015 | | Imagen Landsat 5 TM 1998 | |
|--|--|---|--|
| Origen | Courtesy of the U.S. Geological Survey | Origen | Courtesy of the U.S. Geological Survey |
| Identificador USGS | LC80090572015171LGN00 | Identificador USGS | LT50090571998140XXX02 |
| Satélite | LANDSAT 8 | Satélite | LANDSAT 4 |
| Sensor | OLI_TIRS | Sensor | TM |
| Número de Bandas | 8 | Número de Bandas | 7 |
| Fecha de Captura | 20/06/2015 | Fecha de Captura | 20/05/1998 |
| Tamaño de Pixel | 30*30 | Tamaño de Pixel | 30*30 |
| Formato de Salida | GEOTIFF | Formato de Salida | GEOTIFF |
| Orientación | NORTH_UP | Orientación | NORTH_UP |
| Datum | WGS84 | Datum | WGS84 |
| Zona UTM | 18 | Zona UTM | 18 |
| Vista Previa | | Vista Previa | |
|  | |  | |

Tabla 1. Características y vista previa de las imágenes seleccionadas.
 Fuente: Elaboración Propia

5.3 DOCUMENTACIÓN DEL CONTEXTO HISTORIO SOCIOECONÓMICO DEL MUNICIPIO DE ARMENIA

Se documentaron los hechos históricos y socioeconómicos que pueden explicar las causas por las cuales se dieron los cambios en las coberturas y usos del suelo del municipio de Armenia, desde una mirada de los acontecimientos y eventos por los que ha atravesado el municipio a lo largo de su historia.



5.4 REFERENTES HISTÓRICOS Y MULTITEMPORAL

5.4.1 Información Bibliográfica

Se analizó información bibliográfica permitiendo documentar las transformaciones en coberturas y usos del terreno para generar una línea base relacionada con la interpretación de los cambios en coberturas y usos del terreno actual y pasado. La información será obtenida de textos escritos como libros, artículos, revistas, periódicos y bases de datos disponibles en línea de fuentes confiables como la CRQ, Federación Nacional de Cafeteros, Planes de Ordenamiento Territorial, DANE, entre otros.

5.4.2 Información recolectada de fincas cultivadas en plátano.

5.4.2.1 Selección de fincas

Armenia es el mayor productor de plátano y banano del municipio, por esta razón se seleccionaron 29 fincas con énfasis en producción de plátano, que cubrieran los diferentes pisos térmicos, el municipio fue dividido en dos zonas (zona baja 1.000 a 1.250 m.s.n.m y zona alta 1250 m.s.n.m.)

5.4.2.2 Método de recolección de la información

A las 29 fincas seleccionadas se hicieron frecuentes visitas con el fin de lograr el acercamiento con los agricultores y sus familias. Se realizaron entrevistas semiestructuradas permitiendo lograr la aproximación a cuestiones relacionadas con el conocimiento local sobre procesos de ocupación y circulación humana en el municipio de Armenia. En las entrevistas se siguieron los protocolos metodológicos de Zúñiga et al. (2013) que consistía en diálogos directos que comenzaron con preguntas básicas relacionadas con la fecha de llegada a la finca o la región, procedencia, el tiempo de permanencia, relatos de la ocupación de los vecindarios. Posteriormente se hicieron preguntas que dieron énfasis en la identificación de cómo ha sido el cambio de coberturas y usos del terreno a través del tiempo.

Las preguntas ayudaron a comprender mejor el propósito del estudio y la forma en que el agricultor puede cambiar su dirección y sentido en las respuestas. Se utilizaron preguntas redundantes para mejorar la comprensión, significado de las respuestas y reconocer cómo el entrevistador percibe las respuestas y cómo éstos cambian de acuerdo con los vínculos creados entre los campesinos y los entrevistadores (investigadores). Este procedimiento ayudo a identificar los conocimientos específicos, las imágenes y actitudes que una persona adquiere en su relación entre el medio ambiente, las cosmovisiones y las transformaciones en las coberturas y usos del terreno.



5.4.2.3 Análisis de la información

La información registrada a partir de las entrevistas fue tabulada en el software Excel, con el fin de organizar los datos obtenidos que se representarían en gráficas realizadas en el programa Tableau.

6. RESULTADOS OBTENIDOS

6.1 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES Y MEJORAMIENTO VISUAL Y ESPACIAL

6.1.1 Mejoramiento de imagen mediante aplicación de filtros

Para cada imagen fueron aplicadas diferentes herramientas de mejoramiento con el fin de facilitar la definición de coberturas y usos de suelo en el área de estudio. Mediante el software de procesamiento digital de imágenes ERDAS IMAGINE 2014, fue realizado el ajuste de contraste de manera que las coberturas con mayor representatividad y área fueran resaltadas y por consiguiente diferenciables en términos de tonalidad e intensidad de colores. Para llevar a cabo este procedimiento se eligió la combinación (TM False Natural Color), que corresponde a la combinación 543 para la imagen de 1998 y 654 para la imagen de 2015, adecuadas en el análisis de las coberturas de interés; para dar paso a la calibración manual de los niveles de contraste, brillo e intensidad hasta definir el nivel óptimo de acuerdo con las necesidades del interprete.

Con el fin de obtener mejoramiento espacial en las imágenes analizadas, se aplicó en cada caso un filtro de paso bajo con tamaño de Kernel 3*3, seguido por un filtro de tamaño 5*5, aplicado sobre la imagen resultante del proceso anterior, procedimiento que de acuerdo con bases teóricas permite suavizar los contrastes espaciales, dando como resultado una imagen menos nítida, pero que homogeniza las zonas heterogéneas mostrando una mayor diferenciación entre coberturas.

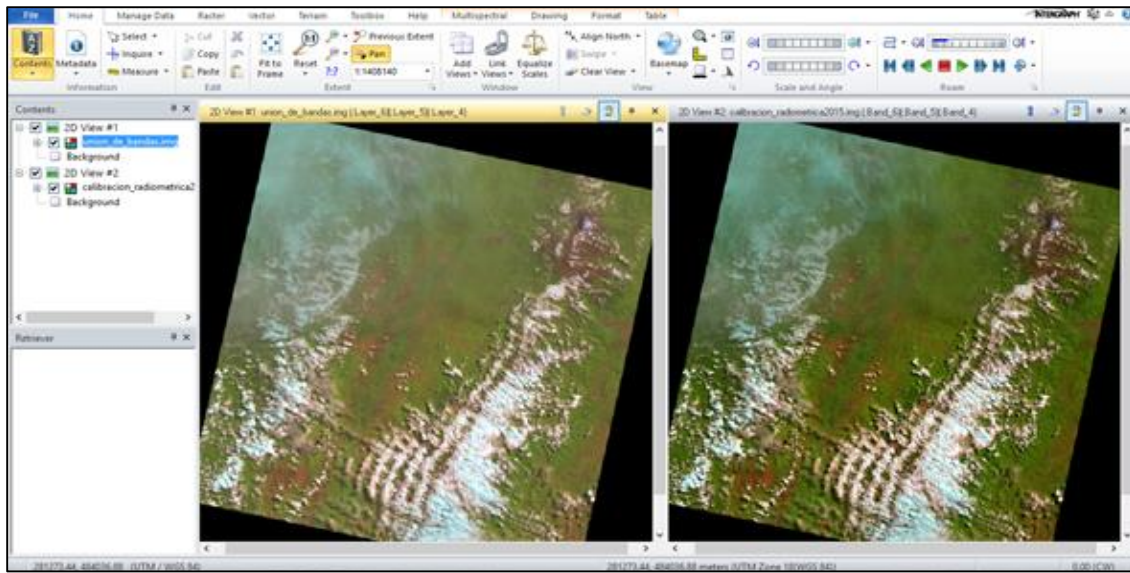


Ilustración 7. Mejoramiento espacial de imagen Landsat 8 Oli, al lado izquierdo imagen sin filtro y al lado derecho imagen con filtro.
Elaboración propia

6.1.2 Corte de zona de interés.

Para cada imagen se extrajo la zona de interés, tomando como referencia un archivo shp actualizado al año 2013 del límite del municipio de Armenia, este se presenta como un archivo Layer AOI que permite extraer el área de interés, que facilita las tareas de edición y permite una mejor distribución en el visor del software de procesamiento digital de imágenes ERDAS IMAGINE 2014, evitando confusiones a la hora de proceder con la clasificación supervisada.

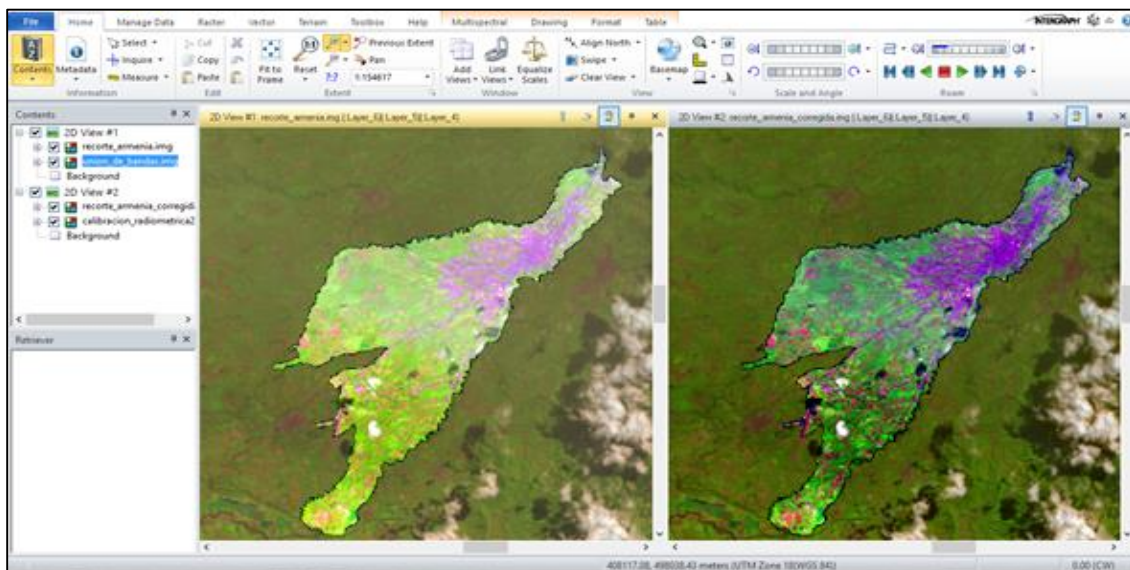


Ilustración 8. Extracción de AOI correspondiente al municipio de Armenia.
Elaboración propia

6.1.3 Clasificación supervisada

Para realizar una clasificación supervisada que garantice la calidad de los datos obtenidos, es necesario tener un conocimiento previo de la zona de estudio, para este caso se realizaron visitas previas a 29 fincas distribuidas en el municipio de armenia, además para la imagen de 2015 se contó con el apoyo del visor de Google Earth⁸ debido a que este permite identificar de manera precisa lugares y objetos, mientras que para la imagen de 1998 se hizo necesario realizar la recolección de información secundaria que permitiera tener conocimiento de las dinámicas de uso del suelo que se estaban dando en ese momento.

La siguiente tabla muestra las combinacion de bandas mas utilizadas durante los procesos de analisis de imágenes satelitales.






| | |
|---|--|
|  | <p>3,2,1 RGB Este compuesto de color es lo más parecido al color verdadero que podemos obtener con una imagen Landsat ETM. También es útil para estudiar hábitats acuáticos. La desventaja de este conjunto de bandas es que tienden a producir una imagen difusa.</p> |
|  | <p>4,3,2, RGB Esto tiene cualidades similares a la imagen con bandas 3,2,1, sin embargo, dado que esto incluye el canal infrarrojo cercano (banda 4), los límites del agua terrestre son más claros y los diferentes tipos de vegetación son más evidentes. Esta era una combinación de banda popular para los datos Landsat MSS ya que no tenía una banda de infrarrojo medio.</p> |
|  | <p>4,5,3 RGB Esto es más nítido que las dos imágenes anteriores porque las dos bandas de longitud de onda más cortas (bandas 1 y 2) no están incluidas. Diferentes tipos de vegetación se pueden definir más claramente y la interfaz tierra / agua es muy clara. Las variaciones en el contenido de humedad son evidentes con este conjunto de bandas. Esta es probablemente la combinación de banda más común para las imágenes de Landsat.</p> |
|  | <p>7,4,2 RGB Esto tiene propiedades similares a la combinación de 4,5,3 bandas, con la mayor diferencia es que la vegetación es verde. Esta es la combinación de banda que fue seleccionada para el mosaico Landsat global creado para la NASA.</p> |
|  | <p>5,4,1 RGB Esta combinación de bandas tiene propiedades similares a la combinación 7,4,2, sin embargo, es más adecuada para visualizar la vegetación agrícola.</p> |

Tabla 2. Tipos de combinaciones de bandas Landsat
Elaboración propia

⁸ Programa informático que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, con base en la fotografía satelital.

Para cada cobertura específica, fueron definidas una serie de áreas de entrenamiento, que como su nombre lo indica, entrenan al software de procesamiento digital ERDAS IMAGINE 2014, para que posteriormente realice de forma automática la delimitación de cada clase sobre la imagen; el total de áreas de entrenamiento por cada cobertura varía en función del grado de homogeneidad de la misma, por tanto, coberturas homogéneas como pastos, bosques demandan un número menor de áreas de entrenamiento, ya que existe mayor probabilidad de seleccionar muestras “puras” en estas clases y en consecuencia lograr una definición acertada de las mismas sobre la imagen. Por otra parte, coberturas con mayor grado de heterogeneidad como el tejido urbano y cultivos, presentan mayor confusión, por ende, el número de áreas de entrenamiento fue mayor lograr una mejor separabilidad de estas durante la clasificación, para este análisis se seleccionaron más de 300 áreas de entrenamiento teniendo en cuenta que al ser un área tan grande se presenta una variación significativa en las coberturas de suelo.

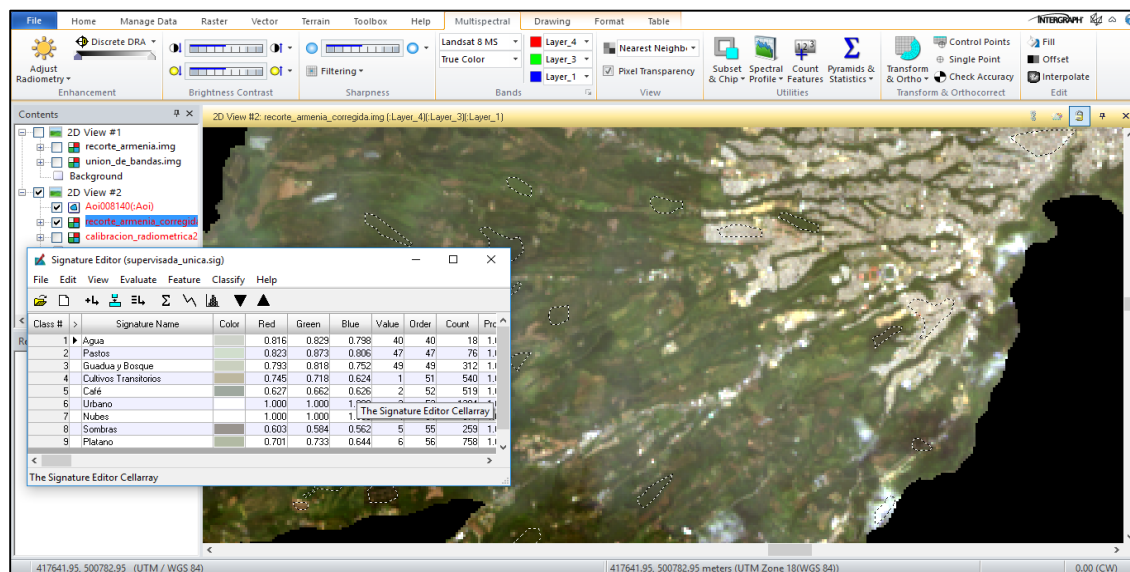


Ilustración 9. Selección de áreas de entrenamiento.
Elaboración propia

Para cada área de entrenamiento seleccionada se realizó un análisis estadístico, a partir de la evaluación de histogramas y el grado de correlación entre coberturas tal como lo muestra la Ilustración 10, de acuerdo con estos resultados, se procedió a agrupar o redefinir el tipo de cobertura, para finalmente ejecutar el algoritmo de clasificación supervisada, dando como resultado una imagen donde cada pixel fue agrupado a un tipo de uso de acuerdo con la selección de las áreas de entrenamiento.

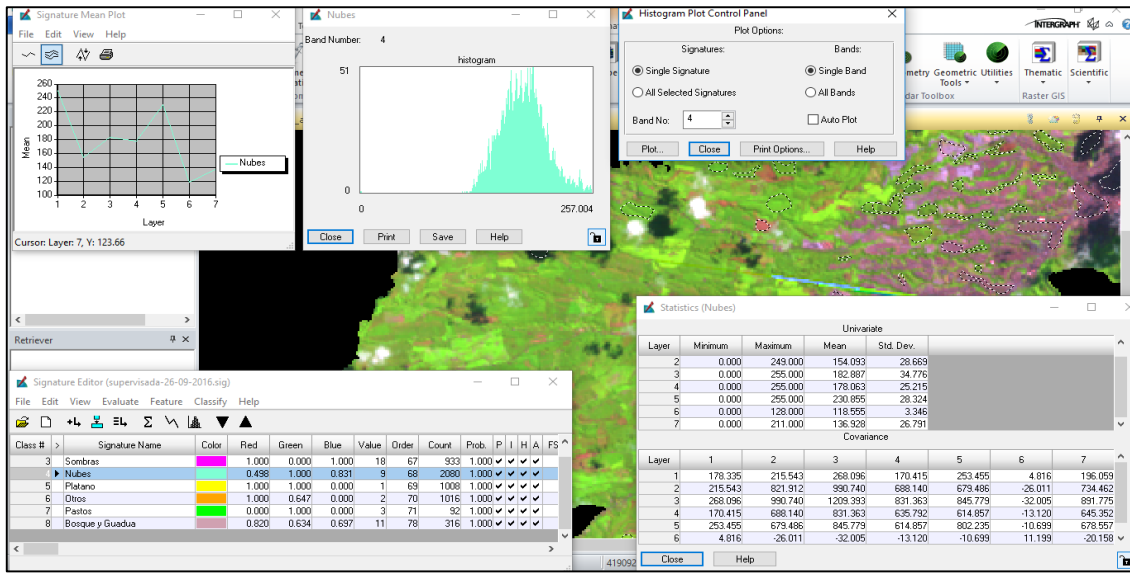


Ilustración 10. Análisis estadístico de histogramas y grado de correlación entre coberturas
Elaboración Propia

Para la fase final de clasificación supervisada fue seleccionado el algoritmo de máxima verosimilitud como lo muestra la Ilustración 11, demostrando un resultado satisfactorio de acuerdo con la similitud obtenida entre las imágenes analizadas, este producto se dio después de realizar un proceso de ensayo y error, que finalmente se vio reflejado en la coherencia que guardan las coberturas dentro de la imagen.

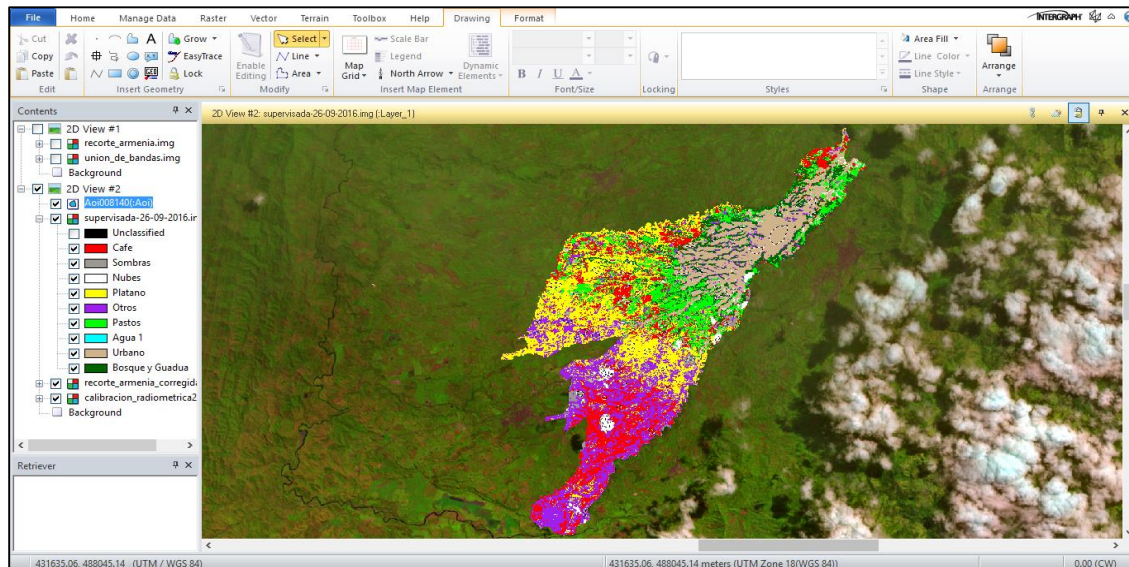


Ilustración 11. Resultado de aplicación de algoritmo de clasificación supervisada
Elaboración propia

6.1.4 Post – Procesamiento

Durante el proceso de la clasificación final se obtuvo una imagen completa; Ilustración 12, que debió ser cortada de acuerdo con los límites establecidos en el área de interés, para previamente ser exportada en archivo shapefile, con el fin de realizar actividades de edición y ajustes en el software ArcGIS 10.4.

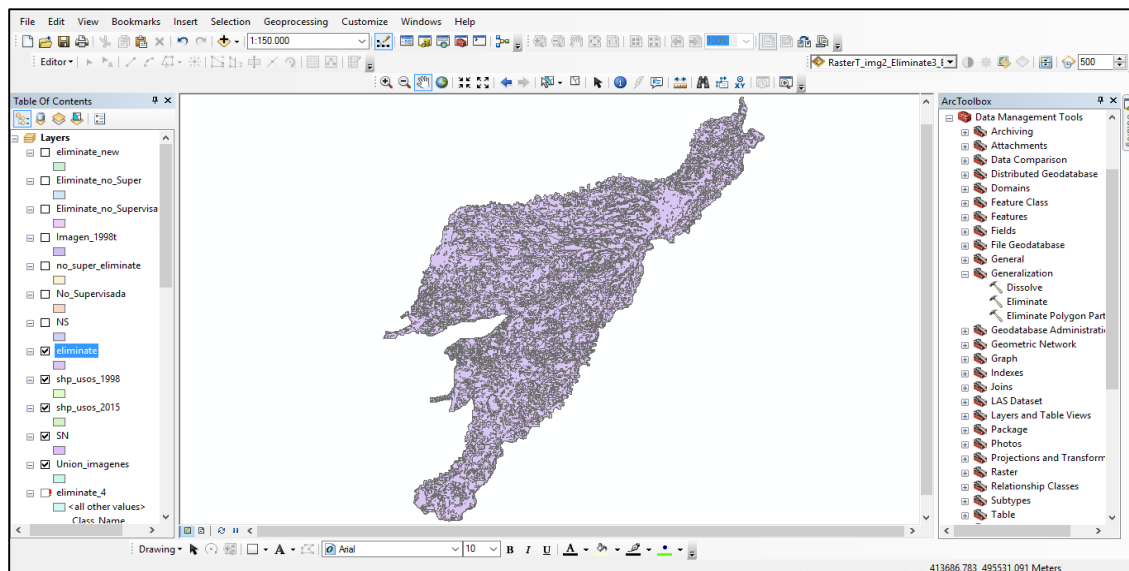


Ilustración 12. Visualización de archivo shapefile en el software ArcGIS 10.4
Elaboración propia



6.1.5 Consolidación De Resultados

De acuerdo con los resultados obtenidos durante las fases previas, se desarrollaron mapas temáticos que muestran el área de estudio y las coberturas identificadas, con base en la metodología de clasificación Corine Land Cover adaptada para Colombia. Para cada cobertura se realizó un proceso de cuantificación definido en hectáreas, en términos de porcentajes de acuerdo con la totalidad del área evaluada, con el fin de establecer de forma cuantitativa los resultados obtenidos durante el análisis, la *Ilustración 13*, hace un comparativo del total de área para cada cobertura en los años 1998 y 2015.

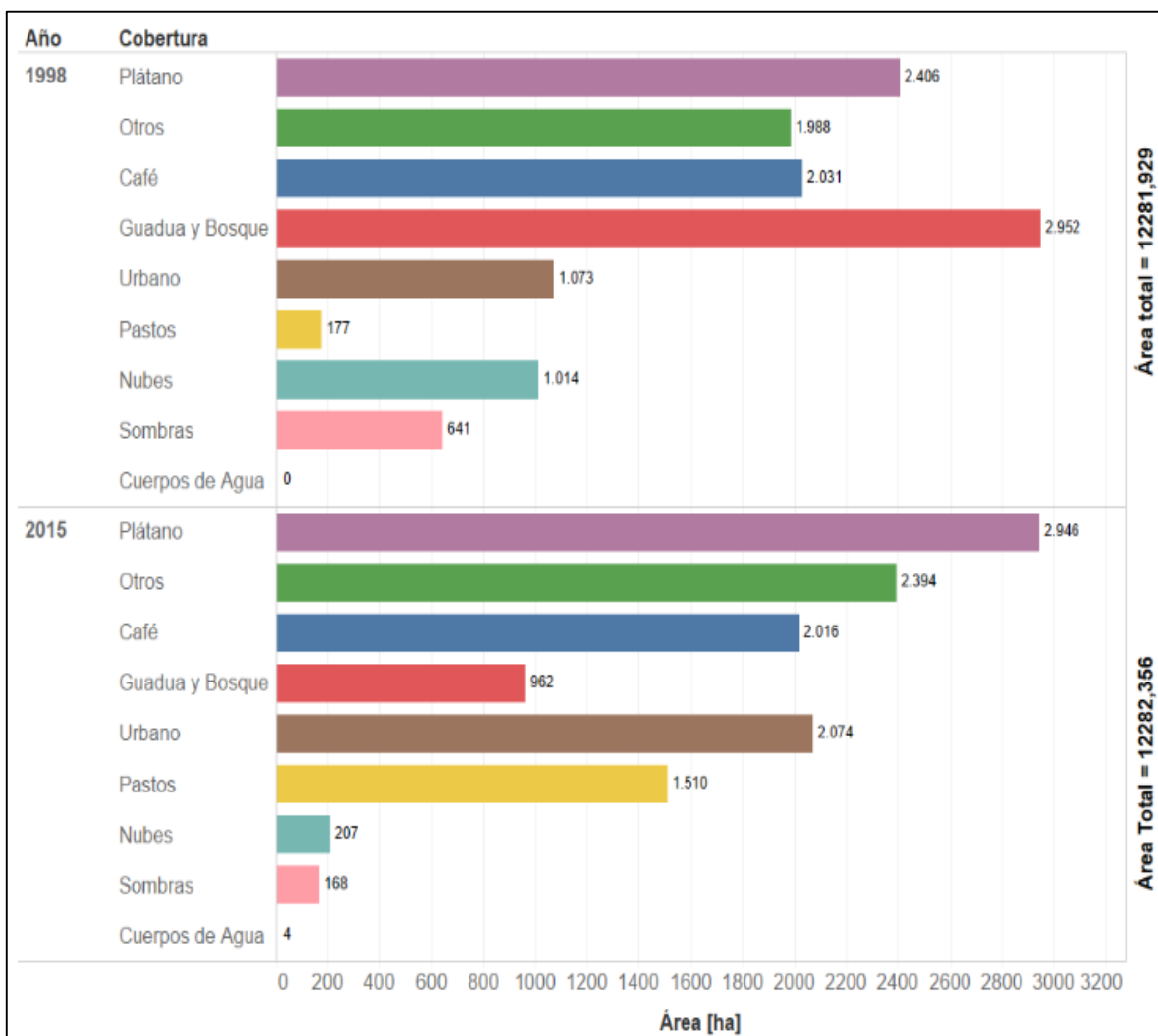


Ilustración 13. Coberturas obtenidas con la consolidación de resultados.
 Elaboración propia

6.1.6 Análisis Multitemporal

Para determinar el cambio de coberturas en el municipio de Armenia, se contó con dos imágenes satelitales de los años 1998 y 2015, que posteriormente fueron analizadas mediante el software de edición ERDAS imagine 2014, con ayuda de software ArcGis 10.4, se llevó a cabo la evaluación de coberturas en ambas imágenes, con el traslape de ambas imágenes se generaron archivos en formato raster con extensión img; finalmente se archivan los datos en formato txt para la generación de tablas y graficas en Tableau.

Como resultado final del análisis multitemporal se obtienen dos mapas que se evidencian en la Ilustración 14 allí se muestran las coberturas obtenidas para los años 1998 y 2015.

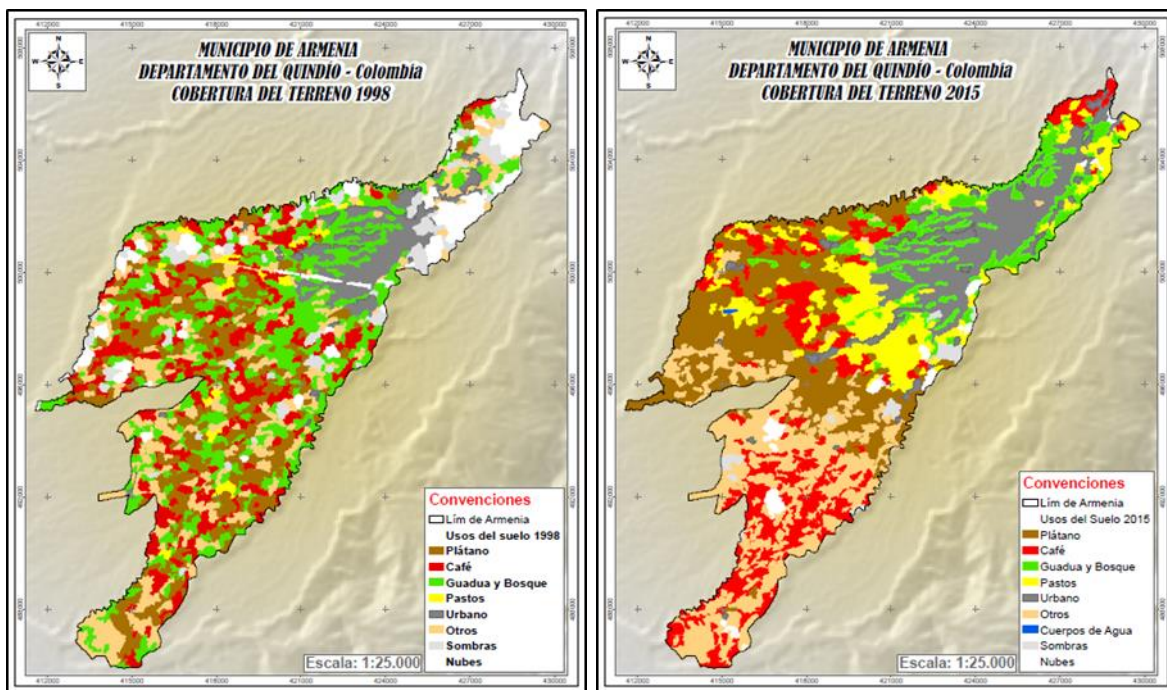


Ilustración 14. Análisis multitemporal 1998 y 2015
Elaboración propia

En la

Ilustración 14, se muestran los resultados obtenidos durante el análisis multitemporal para los años 1998 y 2015, para el 1998 se presenta un área total 12281,9 ha mientras que para el 2015 el área corresponde a 12282,4 ha aquí se analizó un total de 9 coberturas incluyendo las áreas cubiertas por nubes y sombras, en ambas imágenes se manejó la misma escala de colores con el fin de identificar de manera visual los patrones correspondientes a cada cobertura.



En color café se muestra la cobertura de plátano que en 1998 poseía un área sembrada de 2406,2 ha mientras que para el año 2015 su extensión fue de 2946,4 ha, presentando un crecimiento de 22.45%; para el cultivo de café se utilizó el color rojo, que muestra un área de 2030,8 ha para el año 1998 mientras que para el año 2015 su área representa 2016,0 ha evidenciado un decrecimiento del 0.73%; en color verde se muestran los resultados generados para la cobertura de guadua y bosque donde evidencia un área de 2952,1 ha para el año 1998, mientras que para el año 2015 muestra 962,2 ha, generando una diferencia de 67.41%; la cobertura de pastos muestra para el año 1998 un área total que corresponde a 176.6 ha y para el año 2015 el área es 1510,2 ha, circunstancia que resalta un crecimiento de 755.25%; en color gris se componen las áreas urbanas, que para el año 1998 alcanza un área de 1073,3 ha, mientras que para el 2015 el área urbana llega a 2074,3 ha, generando un crecimiento de 93.26%; en color rosa se identifica la cobertura definida como otros que presenta para el año 1998 un área de 1987.7 ha y para el año 2015 su extensión alcanza 2393.6 ha lo cual representa una diferencia de 20.42%, para las áreas cubiertas por nubes y sombras se usó el color gris claro y el color blanco, que sumadas representan un área total para el año 1998 de 1655.3 ha, para el 2015 el área alcanza 375.3ha representando una disminución de 153.26%, estas dos últimas coberturas pierden importancia frente al área total de Armenia, teniendo en cuenta que forman parte del resto de coberturas que componen la imagen pero que no pudieron ser reconocidas o asociadas por el software debido a la composición de bandas espectrales.

A continuación, se presenta en la Tabla 3 con el resumen de datos establecidos para cada cobertura evaluada.

| Análisis Multitemporal | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------|---------------------|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Cobertura | 1998 | | 2015 | | Diferencia | |
| | Área(ha) | Porcentaje % | Área (ha) | Porcentaje% | Área (ha) | Porcentaje% |
| Plátano | 2406,16 | 19,59 | 2946,39 | 24,00 | 540,22 | 22,45 |
| Café | 2030,78 | 16,53 | 2016,01 | 16,42 | 14,77 | 0,73 |
| Guadua y Bosque | 2952,11 | 24,04 | 962,24 | 7,84 | 1989,88 | 67,41 |
| Pastos | 176,58 | 1,44 | 1510,20 | 12,30 | 1333,62 | 755,25 |
| Urbano | 1073,34 | 8,74 | 2074,32 | 16,89 | 1000,98 | 93,26 |
| Otros | 1987,66 | 16,18 | 2393,58 | 19,49 | 405,92 | 20,42 |
| Nubes | 1014,32 | 8,26 | 207,42 | 1,69 | 806,91 | 79,55 |
| Sombras | 640,97 | 5,22 | 167,90 | 1,37 | 473,07 | 73,81 |
| TOTAL | 12281,93 | 100,00 | 12278,05 | 100,00 | | |

Tabla 3. Cambios en la cobertura del suelo 1998 a 2015 Análisis Multitemporal
 Elaboración propia



6.2 CONTEXTO HISTÓRICO SOCIOECONÓMICO

6.2.1 Bonanza cafetera

De acuerdo con (Agudelo, et al., 2003) a finales del XIX el café no era aún reconocido ni posicionado como un producto importante y común para los colonizadores de los predios rurales, debido a que el Ministerio de Obras Públicas aún no había dado la titulación de la propiedad por mejoras en terrenos de baldíos nacionales, los cultivos de siembra que existían eran de subsistencia, tenían que ver con maíz, caña, frijol, yuca, frutales alternados con pastos y ganadería.

A principios del siglo XX el café comienza a darse a conocer y a sembrarse en las partes bajas de los terrenos pertenecientes a Armenia, Calarcá, Circasia y Filandia. En el año de 1922 se reportó la primera compra de café en Génova, en 1923 Armenia y Calarcá ocupaban el segundo y cuarto puesto entre los municipios caldenses por árboles sembrados y hacia 1930 el Quindío era la región más densa sembrada y productiva del país; en este año la economía regional se movía en la actividad agropecuaria, café como producto de exportación y el cultivo de maíz, caña panelera, frijol, papa y ganadería abastecían los mercados internos.

Hacia 1966 el café seguía siendo el producto más importante de la actividad agrícola con la variedad arábigo, le seguía el plátano, caña de azúcar, maíz, yuca y papa en menor proporción, en cuanto a pastos la ganadería era de tipo vacuno y para engorde, con 27.000 cabezas aproximadamente. En Armenia estaban localizadas tres pasteurizadoras (ILCA- Industria Lechera de Caldas-Pacol y Celesa) quienes surtían el mercado interno de leche. En 1931 se inició el proceso para ser parte del Pacto de Cuotas creado luego del incremento de la producción cafetera logrando ser parte de él en 1940 como un acuerdo internacional para el manejo de la política cafetera, dando también paso a la creación del Fondo Nacional del Café creado con el fin de comprar las existencias que se dejaran de exportar, para cumplir la cuota asignada y financiar las compras (Layton, 2017).

Con la bonanza cafetera permitió una estabilidad económica y dotó a la población en infraestructura de los servicios básicos como redes eléctricas, centros de salud, educación y vivienda, de esta manera el Quindío contaba con el indicador más alto de necesidades básicas insatisfechas cubiertas.

Según los censos cafeteros en 1970 predominaba una caficultura tradicional y para 1981 ya se registra una caficultura más tecnificada con la introducción de la variedad caturra, se registra en el departamento un área sembrada de 61,950 ha, el 53,4%



representaba en café tradicional y el 46,6% representaba el café tecnificado, este cambio es dado gracias a la bonanza cafetera; para 1975 se introdujo la variedad plátano dominico-hartón intercalándose con el cultivo de café tradicional proporcionándole sombra posicionándose como el segundo cultivo más importante del departamento, seguido de cultivos de yuca y cítricos.

6.2.2 Crisis cafetera

A finales de los años 60 se reporta la llegada de enfermedades como la roya a Brasil y Costa Rica, dado que el café representaba el 63% de los ingresos del país por exportación, Cenicafe inicia investigaciones para crear un sistema que fuera menos susceptible a la roya, dando como resultado un sistema tecnificado e intensivo disminuyendo las coberturas de sombra en cafetales, generando la eliminación de los bosques culturales o bosques de sombrío (López, Cano, & Rodríguez, 2006). A mediados de los años 80 llega la roya y la broca, disminuyendo las coberturas sembradas de café rápidamente, dado a que los caficultores debían de cortar gran parte de su cultivo para evitar la proliferación de las enfermedades, como causa se potencializaron otros cultivos.

En junio de 1989 entra nuevamente en crisis el sector cafetero debido al rompimiento del pacto de cuotas, lo que ocasiona la disminución en coberturas del café y su importancia en la economía regional, según la encuesta nacional cafetera realizada entre 1993 y 1997, el área del café había bajado de 61,950 ha en 1981 a 51,484 ha para la fecha; el segundo uso del suelo lo ocupaba pastos con un área de 12,589 ha reflejado el cambio en las coberturas ocasionado por la eliminación paulatina de las plantaciones de café, seguía las coberturas de bosque con 5,466 ha, plátano con 2,774 ha, este como la alternativa más viable para los caficultores (Agudelo, et al., 2003).

a Federación Nacional de Cafeteros fomento la renovación de cafetales con el fin de disminuir la producción, dar espera a los mercados internacionales y reducir la dependencia al cultivo de café, muchos caficultores tomaron la decisión de transformar su cobertura de café a pastos para ganadería y otros cultivos que eran más atractivos económicamente hablando, como consecuencia se disminuyó drásticamente el área sembrada de café (López, Cano, & Rodríguez, 2006). Es importante anotar que, por inconvenientes en el mercadeo de estos productos, gran parte de los caficultores siguen produciendo café, ya que es un producto con compra garantizada y a un precio conocido.

Los bosques estaban asociados con la eliminación de la caficultura tecnificada, los datos arrojados en los censos cafeteros registran un aumento en área de rastrojo y



bosques natural, pero no hay información suficiente para definir que coberturas, donde están ubicados o cuales parches de bosques se encuentran caracterizados dentro de las coberturas de bosques y rastrojo.

Otra consecuencia del sistema tecnificado aparte del uso del paisaje es la diferenciación de los pequeños productores con los medianos y grandes productores, ya que, el sistema requiere de mayor capital, en muchas ocasiones no puede ser invertido por los pequeños productores, convirtiéndose en los jornaleros de los medianos y grandes empresarios, adicional a generado la fragmentación de la propiedad en las zonas cafeteras ocasionado cambios en el paisaje, en el uso del suelo y problemas sociales como desplazamiento, desempleo, migración hacia el área urbana, entre otros.

6.2.3 Narcotráfico en los años 80

Otro hecho histórico que golpeo el municipio de Armenia fue el narcotráfico, las fincas con vocación ganadera y cafetera fueron objeto de compra de grandes extensiones de tierra por narcotraficantes hacia mediados de los años 80, cambiando la dinámica de la economía, ya no era solo café sino también narcotráfico, gracias a las grandes ganancias que este generaba se sostuvo una calidad de vida, contribuyendo a mantener una imagen de región, siendo una de las causas de la migración de campesinos hacia la ciudad, donde vendían sus predios y se mudaban con su familia al perímetro urbano (Toro Z. G., 2004). Armenia era una de las principales ciudades receptoras de inmigrantes de los diferentes municipios del Eje Cafetero, Antioquia y Tolima, generando una expansión urbana hacia las zonas de periferia.

6.2.4 Turismo

El turismo y la fragmentación del territorio se dieron por varias causas, pero la principal fue la crisis cafetera ocasionado por el Pacto de Cuotas en 1989, dando como respuesta ante este panorama el inicio de la explotación del turismo rural por un grupo de caficultores, esta modalidad estuvo soportada en una red de alojamientos que incorporaba a las fincas cafeteras y la infraestructura de servicios básicos existente, a lo que adicionalmente contribuyó la variedad paisajística de la región y su arraigada cultura cafetera (Gómez, Restrepo, & Gonz, 2004), la mirada emprendedora de algunos particulares dieron los inicios a los primeros parques temáticos del Quindío, Parque Nacional del Café y Parque Nacional de la Cultura Agropecuaria (PANACA), además Colombia ofrece características especiales que la hacen un excelente destino para la inversión en turismo, particularmente por los incentivos que se ofrecen a los inversionistas del sector; exención del impuesto a la renta por un período de 30 años; renta exenta proveniente de los servicios de ecoturismo por un término de 20 años a partir del año gravable 2003; deducciones



de impuestos en bienes de capital utilizados para exportaciones de turismo, estas circunstancias han cambiado la vocación del suelo, algunos sectores que antes estaban sembrados de café se convirtieron en Chalet, fincas de recreo o salones sociales.

6.2.5 Terremoto de 1999

El terremoto ocurrido el 25 de enero de 1999 fue un acontecimiento que golpeó fuertemente al eje cafetero en especial al municipio de Armenia, gran parte de su estructura se vino al suelo dejando a miles de personas sin hogar, también se ocasionaron daños en la infraestructura de beneficiadores, estanques para el almacenamiento de agua, bodegas, campamentos y demás construcciones para el procesamiento del café, del total de daños reportados el 64,9% corresponde a beneficiadores totalmente destruidos o que era necesario demoler y en menor medida pérdida de productos que no pudieron ser comercializados, ni transportados debido a daños en las vías de comunicación, en especial las terciarias y vías de acceso o salida de las fincas (Naciones Unidas CEPAL, 1999). Se realizó un programa de reconstrucción generando mano de obra y por consiguiente empleo, aun así, el desempleo continuaba creciendo porque se había dado una inmigración de personas con el fin de favorecerse de los programas de vivienda; el área sembrada de café seguía en disminución, siendo reemplazada por actividades agropecuarias no tan demandantes de jornales como la ganadería y el cultivo de plátano, entre otros (Agudelo, et al., 2003).

Según lo expone la (Cepal) los daños ambientales no pudieron ser valorados en su totalidad, aunque la sola pérdida de suelo y deterioro de estos sumado a los costos de recuperación en términos de reforestación, saneamiento y rellenos sanitarios representan un monto de más de \$4.800 millones de pesos.

6.3 ANÁLISIS DE REFERENTES HISTÓRICOS Y MULTITEMPORAL

6.3.1 Información bibliográfica y multitemporal

Tomando como referencia el POT de Armenia (1999), se puede ver en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que para el año de 1998 el área del cultivo de plátano es de 2,915 ha equivalente al 24,40%, obteniendo como diferencia 968 ha que representan el 33,21% para el año 2015, con un área total de 3,883 ha iguales al 30,5% a diferencia del análisis multitemporal donde se obtuvo un área de 2,406,16 ha para el año 1998 y 2,946 ha para el año 2015 con una diferencia en área de 540,22 que representan el 22,45% del área del municipio de Armenia. Según el informe EVAS (2014-2015), el área del cultivo de café ha presentado



pérdidas de 775,8 ha para el año 2015, ya que paso de 2,960 ha (24,5%) en el año 1998 a 2,184,2 ha (17,2%), en comparación con los datos arrojados del análisis multitemporal se refleja un área de 2,030,78 ha (16,53%) para el año 1998 y para el año 2015 cuenta con 2,016,01 ha (16,42%) con una diferencia de 14,77 ha.

También se observa una disminución de la cobertura de guadua y bosque equivalente a 289,49 ha comparado con el año 1998 donde se contaba con una extensión de 1,409,3ha que representan el 11,7% para el 2015 baja a 1,119,81 ha equivalentes al 8,8% del área del municipio, mientras que en el análisis multitemporal refleja una disminución mucho más considerable al pasar de 2,952,11 ha iguales a 24,04% a 962,24 ha que representan el 7,84%, esto refleja una pérdida de 1,989,88 ha. De acuerdo con la base estadística de usos de cobertura del suelo obtenida en la página de la CRQ, el área de pastos⁹ en 2015 es de 2,956 ha, equivalente al 23,2%, comparado con los datos del POT de Armenia de 1999, para el año 1998 el área era de 3,435 ha, que representaban el 28,54% del municipio de armenia, generando una pérdida de 479 ha al compararlo con el análisis multitemporal se evidencia que para el año de 1998 el área era de 176,58 ha y tuvo un crecimiento al 2015 de 1,510,20 ha, ganando 1,333,62 ha que representan un 755,25% .

El área urbanizada creció de 1,210 ha que representaban el 10% del área poblada en 1998, a 2,325,73 ha que representan el 19,17% en 2015, obteniendo así una ganancia en áreas de 1,115,73 ha igual al 92,21% en similitud con el análisis multitemporal donde refleja un área de 1,073,34 ha (8,74%) en el año 1998 y cambia a 2,074,32 ha (16,89%) para el año 2015 generando una ganancia en extensión de 1,000,98 ha. Por último, se encuentran otros¹⁰, los cuales pasaron de 106 ha equivalente a 0,88% en 1998 a 236,24 ha equivalente a 1,8% en el año 2015, generando una ganancia de 130,24 ha que representan el 122,87%, en comparación con el análisis multitemporal se obtuvo una ganancia de 405,92 ha que representan el 20,42% al pasar de 1,987,66 ha a 2,393,58 ha.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se detallan las variaciones de cobertura del suelo en área y porcentaje de los años 1998 y 2015.

⁹ Dentro de la cobertura de pastos se incluyó tierras al descubierto

¹⁰ En el ítem de otros están incluidos cultivos transitorios, cultivos permanentes, excepto los analizados en la tabla (Café y plátano)



| Cobertura | 1998 | | 2015 | | Diferencia | |
|---|-----------------|---------------|-----------------|---------------|------------|-------------|
| | Área(ha) | Porcentaje % | Área (ha) | Porcentaje% | Área (ha) | Porcentaje% |
| Datos obtenidos del análisis multitemporal | | | | | | |
| Plátano | 2406,16 | 19,59 | 2946,39 | 24,00 | 540,22 | 22,45 |
| Café | 2030,78 | 16,53 | 2016,01 | 16,42 | 14,77 | 0,73 |
| Guadua y Bosque | 2952,11 | 24,04 | 962,24 | 7,84 | 1989,88 | 67,41 |
| Pastos | 176,58 | 1,44 | 1510,20 | 12,30 | 1333,62 | 755,25 |
| Urbano | 1073,34 | 8,74 | 2074,32 | 16,89 | 1000,98 | 93,26 |
| Otros | 1987,66 | 16,18 | 2393,58 | 19,49 | 405,92 | 20,42 |
| Nubes | 1014,32 | 8,26 | 207,42 | 1,69 | 806,91 | 79,55 |
| Sombras | 640,97 | 5,22 | 167,90 | 1,37 | 473,07 | 73,81 |
| TOTAL | 12281,93 | 100,00 | 12278,05 | 100,00 | | |
| Datos obtenidos de la revisión bibliográfica | | | | | | |
| Plátano | 2915,00 | 24,40 | 3883,00 | 30,50 | 968,00 | 33,21 |
| Café | 2960,00 | 24,50 | 2184,20 | 17,20 | 775,80 | 26,21 |
| Guadua y Bosque | 1409,30 | 11,70 | 1119,81 | 8,80 | 289,49 | 20,54 |
| Pastos | 3435,00 | 28,54 | 2956,00 | 23,20 | 479,00 | 13,94 |
| Urbano | 1210,00 | 10,00 | 2325,73 | 19,17 | 1115,73 | 92,21 |
| Otros | 106,00 | 0,88 | 236,24 | 1,80 | 130,24 | 122,87 |
| TOTAL | 12035,30 | 100,00 | 12704,98 | 100,00 | | |

Tabla 4. Cambios en la cobertura del suelo 1998 a 2015
 Elaboración propia

POT Armenia 1999¹¹

6.3.2 Información obtenida de las entrevistas

Se aprecian datos importantes de los 29 predios, para determinar los usos de suelo existente en el año 1998. Dentro de los resultados arrojados, analizados en la Ilustración 15, el 48% de los entrevistados dueños y administradores de las fincas corresponden al género femenino y el 52% pertenecen al género masculino, con un promedio de edad de 59 años, el 66% de los entrevistados llevan en promedio 43 años en la zona y el 34% llevan menos de 20 años en el predio. De los propietarios y administradores el 76% son oriundos de departamento del Quindío, de los cuales, el 73% son originarios del municipio de Armenia, el 10% son de Antioquia, 3% procedentes de departamento de Caldas, el 3% son naturales del departamento de Risaralda y el 7% proceden del Valle del Cauca.

¹¹ Los datos de uso del suelo contenidos en la tabla correspondientes al año 1998, fueron tomados del Plan de Ordenamiento Territorial de Armenia 1999 de un informe realizado por la CRQ, es de aclarar que en la búsqueda de la información bibliográfica existente de la cobertura y usos de suelo del año 1998, no fue posible encontrar datos de este año, por consiguiente se tomó la información del año más cercano, para este caso los datos son correspondientes al año 1997.

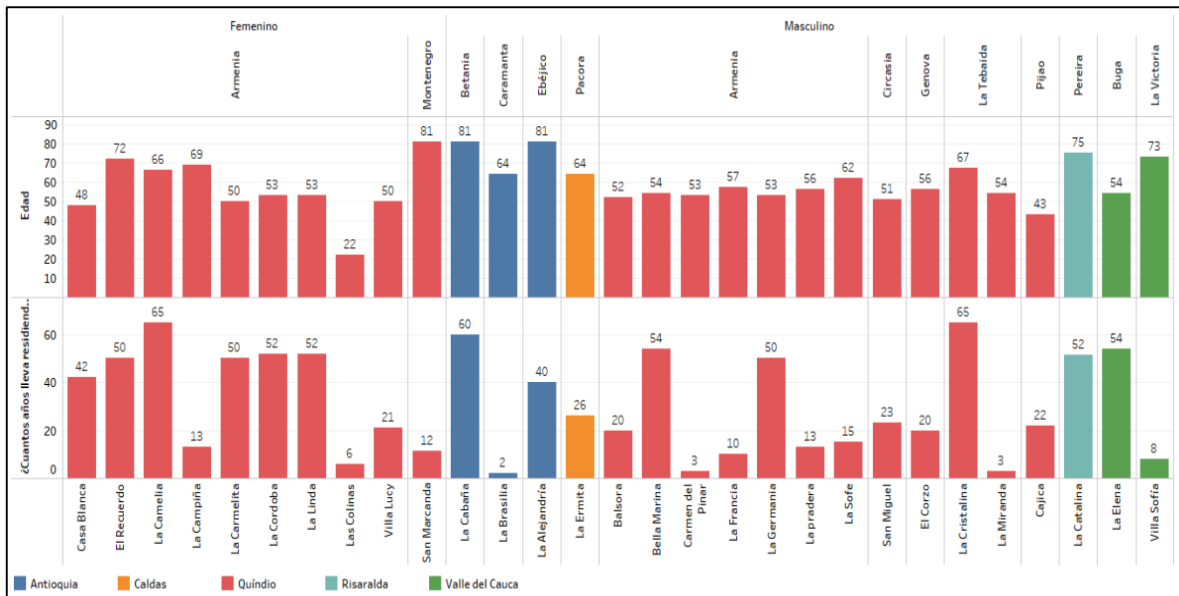


Ilustración 15. Información de los predios y sus propietarios
Elaboración propia

Inicialmente las fincas visitadas eran en su mayor extensión de producción cafetera con sombrío, entre los años 80s y 90s el Comité de Cafeteros impuso el cambio a monocultivos de café sin sombrío, debido a las enfermedades que se dieron en el momento, introduciendo nuevas variedades de café, como variedad Castilla y Colombia; los cafeteros que se imponían a realizar el cambio se les amenazaba con deshabilitar la cedula cafetera, aun así algunos cafeteros no realizaron este cambio ya que comprendían y eran conscientes de la importancia de tener cobertura arbórea.

Después de la bonanza cafetera, el cultivo de café paso por dos crisis, ocasionado por la ruptura del pacto mundial cafetero y por enfermedades como la roya y la broca, incrementando los costos de producción por los elevados precios en los insumos, adicional, se dejó de dar un relevo generacional, las familias cafeteras fueron reduciendo su número originando menor mano de obra para el cultivo. De esta manera el 72% de los predios empezaron a cambiar la vocación del suelo pasando de cultivos de café a cultivos de plátano, por su facilidad de manejo, además presentaba precios más estables; en algunas fincas fue acompañado con cultivos de pasto, yuca, cítricos y aguacate. A los cultivos de plátano les empezó a dar diferentes enfermedades como el moco, además el costo del plátano empezó a bajar en épocas de cosecha, debido a esto algunos agricultores regresaron a los cultivos de café.



Las percepciones que tienen los propietarios y administradores de las fincas sobre los cambios de cobertura del cultivo de plátano, es diversa, el 59% de los entrevistados, coincidieron que la disminución fue entre un 30% y 50% originado por condiciones climáticas y diversificación de cultivo, el 17% contestaron que las coberturas aumentaron a razón de la crisis cafetera y el 14% indica que se ha mantenido estable a pesar de los problemas fitosanitarios que presenta el plátano. A la zona han llegado muchas personas foráneas quienes han ido cambiando las actividades productivas del municipio, los usos de suelo han cambiado de lo agro a creación de chalets, centros recreativos impulsados por el turismo y la expansión urbana.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1 ANÁLISIS DE REFERENTE MULTITEMPORAL

La información obtenida mediante el procesamiento digital de las imágenes satelitales Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI_TIRS capturadas el 20 de mayo de 1998 y el 20 de junio de 2015 y analizadas mediante la técnica de clasificación supervisada, permitieron obtener un estimado de las áreas ocupadas por cada una de las coberturas identificadas; debido a que la resolución dada por las imágenes satelitales Landsat es de 30 metros por pixel, no permite llegar a un nivel de detalle mayor, en el que se pueda identificar un número superior de coberturas o usos del suelo, para este caso se hizo necesario definir un área mínima de mapeo de 5*5, lo que significa que toda área que sea inferior a 2,25 ha no cumple con las reglas básicas de generalización; cuando se presentan polígonos que no cumplen con la regla puede ocurrir que ellos se encuentren rodeados por una unidad mayor en forma individual o que hagan parte de un grupo de unidades que no satisfagan los criterios, se debe aplicar criterios de generalización que permitan incorporar esas coberturas de áreas reducidas a las coberturas vecinas que si cumplen con el tamaño mínimo.

De acuerdo con los resultados alcanzados durante el proceso se analizará cada una de las coberturas obtenidas, exceptuando la cobertura de nubes y sombras, teniendo en cuenta que no existe la posibilidad de conocer qué tipo de uso o cobertura se encuentra dentro del área que estas ocupan, la *Ilustración 16* muestra en color rojo las zonas que no están siendo tomadas en cuenta para el análisis de

coberturas y en color verde muestra las zonas utilizadas durante el proceso, estas áreas son el resultado de cruzar los polígonos obtenidos durante la clasificación supervisada para cada imagen.

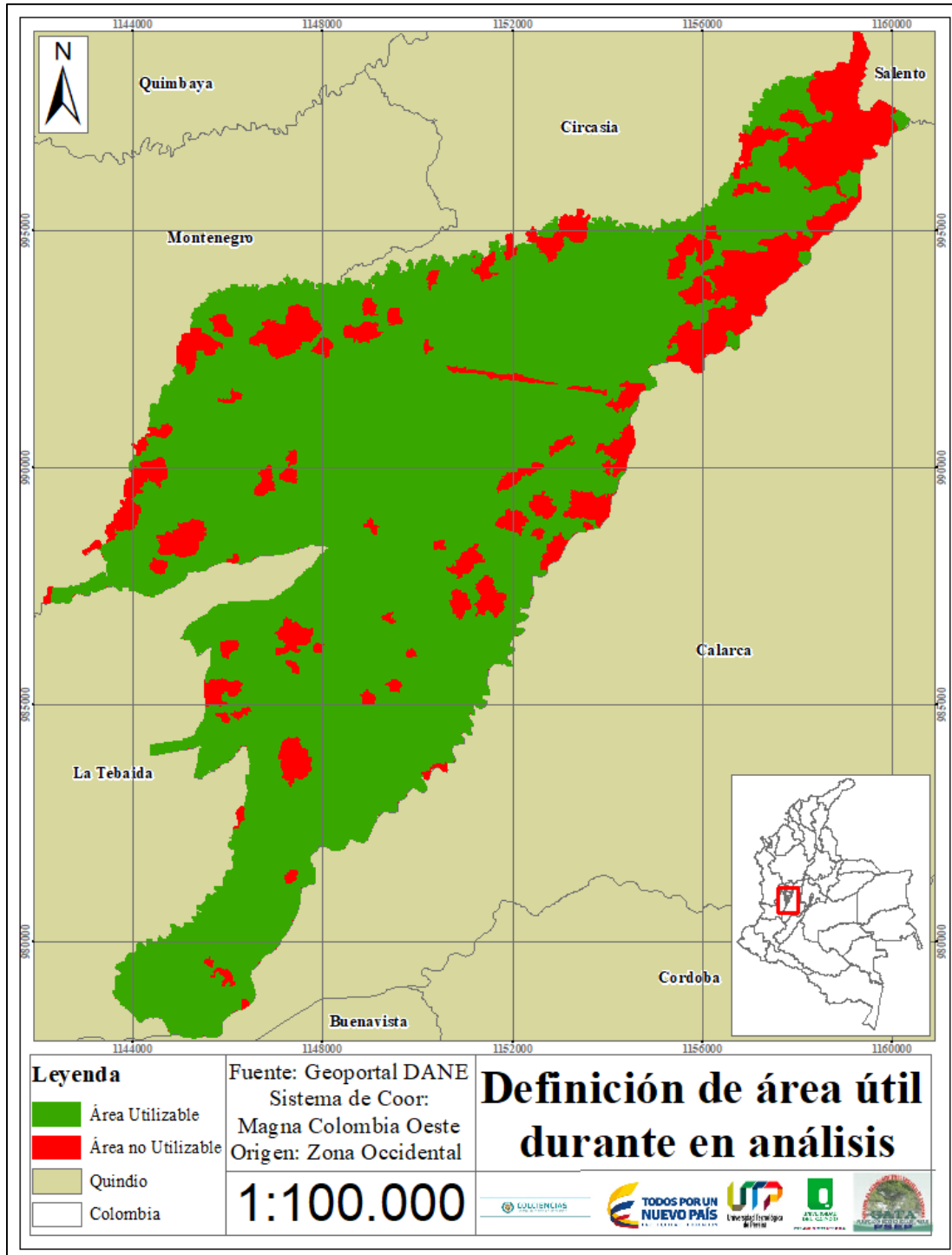


Ilustración 16. Definición de utilizable e inutilizable durante el proceso de análisis.
 Elaboración propia



Para el año 1998 la cobertura de plátano alcanzo la suma 2406.16 ha distribuidas homogéneamente en la mayoría del territorio que conforma el municipio de Armenia, cifra mayor al área que ocupa el cultivo de café 2030, 78 ha hecho que puede entenderse; teniendo en cuenta que para este momento el café estaba pasando por una crisis que de una u otra manera impulso el cambio en las coberturas de suelo, con el fin de minimizar los impactos económicos que representa la baja en los precios del grano para la economía del municipio.

La poca confianza que se tiene frente a la estabilidad del precio del café, propicia el aumento del área sembrada en plátano teniendo en cuenta que el resultado obtenido durante el análisis multitemporal presenta un valor de 2946.39 ha, superando en un 18.33 % el área registrada en el año 1998; según el Ministerio de Agricultura mediante las Evaluación Agropecuarias Municipales, para el año 2014 el área sembrada en plátano para el municipio de Armenia fue de 4966 ha, dato que dista considerablemente con lo obtenido durante el análisis, esta situación puede entenderse teniendo en cuenta que durante el proceso se dejaron de tomar áreas dispersas que estuvieran por debajo de la unidad mínima de mapeo y que pasaron a formar parte de otra cobertura.

La cobertura de café para el año 1998 presenta un área sembrada de 2030.78 ha de acuerdo al análisis multitemporal, para esta fecha el cultivo de café no pasaba por su mejor momento ya que los problemas fitosanitarios y la crisis en el mercado obligaron a los agricultores a eliminar el cafetal con variedad Colombia y aumentar los monocultivos como el maíz, el fríjol y el plátano (Zúñiga et al., 2003; Zúñiga, Feijoo y Quintero 2004; Feijoo, Zúñiga, Quintero y Lavelle, 2007), de acuerdo a las Naciones unidas durante el periodo 1998- 2003 La caída en los precios del café determina la pérdida de rentabilidad del negocio y marca un ciclo descendente de la economía regional, que se conjuga con la recesión generalizada en el país y las consecuencias económicas y sociales del sismo de 1999.

El análisis multitemporal muestra que para el año 2015 el área sembrada en café es muy similar al área sembrada en 1998, con un registro de 2016.01 ha, lo que representa una disminución de 0.72%; para el Ministerio de Agricultura en el 2014 el área sembrada fue de 2220 ha, de acuerdo al Censo Agropecuario, llama la atención la similitud que existe entre los datos obtenidos durante el análisis multitemporal y los obtenidos en campo, esto se puede explicar gracias a que las características de la cobertura permiten identificar de manera exacta las zonas sembradas en café.

El aumento en la cobertura urbana permite explicar el porqué del comportamiento de las coberturas de pastos, bosque y guadua, para el año 1998 el área ocupada



por la cobertura urbana alcanzo 1073,34 ha de acuerdo con lo estimado por el análisis multitemporal, es preciso aclarar que para este análisis la cobertura más sencilla de interpretar es la urbana debido a las características únicas que presenta en cuanto a color, nitidez y distribución en el espacio.

Con el terremoto que sacudió al departamento del Quindío en 1999 la ciudad de Armenia comenzó un proceso de urbanización que puede explicar por qué paso a tener en el 2015 2074.32 ha de suelo urbano, arrebatando suelos ocupados por bosque y guadua, como lo muestra la imagen de 1998 la mayoría de estas coberturas se encontraban aledañas a los centros poblados de allí que pasara de tener 2952.11ha a 962.24 ha, el análisis también muestra como los suelos sembrados en pastos han influenciado en la pérdida de coberturas de bosque y guadua teniendo en cuenta el aumento que se tuvo durante el periodo analizado, para el año 1998 el área de pastos estaba por la margen de 176.58 ha, cifra superada para el año 2015 con un área total de 1510.20 ha, una de las explicaciones que se pueden dar frente al crecimiento tanto urbano y áreas sembradas en pasto es que los procesos de crecimiento demográfico han gestado el escenario adecuado para que la ciudad de armenia sea vista como el sitio adecuado para desarrollar proyectos inmobiliarios y turísticos; además muchos de estos predios se convirtieron en objeto del interés de los inversionistas narcotraficantes a partir de la segunda mitad de la década de los ochenta. Según un estudio de Naciones Unidas en 1997, en 66 de los 92 municipios de la Ecorregión Cafetera existen evidencias de compras de tierras por narcotraficantes.

Según (DANE, 2005) en el año 2005, Armenia se consolida como ciudad intermedia en el país con una población de 280,881 habitantes y con el 97% de la población concentrada en el área urbana (Figura 2). Es considerada una ciudad densamente poblada, el municipio tiene 2.223 hab/km²; en el área urbana residen 13.348 hab/km², y en el área rural sólo 68 hab/km².

Es importante hacer la discusión de los resultados obtenidos durante el análisis multitemporal sin que se tenga en cuenta las áreas ocupadas por nubes y sombras que cubren ciertas zonas de las imágenes, se hace necesario mostrar los resultados finales



7.2 ANÁLISIS CONTEXTO HISTORIO SOCIOECONÓMICO

Son muchos los factores que pueden interferir en los cambios de la cobertura del suelo, si bien es un proceso natural que puede darse en largos periodos de tiempo, existen otros factores como las actividades humanas y eventos natural imprevistos, que funcionan como aceleradores de este proceso.

La bonanza cafetera originado por el Pacto de Cuotas fue un acontecimiento que origino cambios radicales en las coberturas del municipio de Armenia, dada la rentabilidad económica que presentaban los cultivos de café, llegando hacer la región más densamente sembrada y productiva del país, la cual lograba suplir la seguridad alimentaria de los campesinos, donde el 70% de la población del departamento del Quindío habitaba las zonas rurales y solo el 30% vivían en espacios urbanos (Alcaldía de Armenia, 2008). Aunque predominaban los cultivos de café, también había otras coberturas en menor proporción, pero igualmente importantes para abastecer los mercados internos como el plátano en segundo lugar, pastos para ganadería y otros cultivos como maíz, yuca, papa y caña de azúcar, los bosques están asociados a los cultivos de café junto con cultivos de plátano (Agudelo, et al., 2003).

Después de la bonanza cafetera la caficultura atravesó por dos crisis cafetera, la llegada de enfermedades como la roya y la broca y el rompimiento del pacto de cuotas, según (López, Cano, & Rodríguez, 2006) muchos caficultores disminuyeron paulatinamente su dependencia hacia el cultivo de café, la cual también fue una estrategia de la Federación Nacional de Cafeteros, empezado a considerar otras alternativas que eran más rentables en su momento como lo fue la producción de pastos para ganadería, cultivos de plátano que en la actualidad es un producto junto con el café más importante en la economía del departamento y el fortalecimiento de otras coberturas.

El narcotráfico, la violencia y la guerrilla generaron un desplazamiento de los campesinos a zonas urbanas, ya que en el campo tenían dificultades de acceso a la tierra, existían conflictos de usos del suelo, ganadería extensiva, las tierras habían pasado a manos de unos pocos propietarios, había influencia de actores armados ilegales, ocasionado problemas sociales, como pérdida de identidad, fuerza laboral del campo, desplazamiento, trabajo informal, desempleo, entre otros (Toro Z. G., 2004).

En el afán de contar con una fuente de ingresos, muchos caficultores optaron por darle un giro a sus fincas cafeteras y empezar a prestar diferentes servicios



enfocados al sector turístico, es así como surge el agroturismo, este cambio generó informalidad en esta actividad ya que se omite el cumplimiento de la reglamentación turística, siendo necesario capacitar a los propietarios en diferentes temas, entre ellos, servicio al cliente, calidad, mercadeo, regulación ambiental, etc. Otro factor que ocasiona preocupación, es la pérdida en la productividad agrícola del municipio, ya que se ve comprometida la seguridad alimentaria de los pobladores, debido a que gran parte del suelo rural ha cambiado su vocación para prestar diferentes servicios turísticos, además de generar una fragmentación en los predios del municipio ocasionado por 2 razones una de ellas es la tendencia de segunda vivienda y la segunda por el desarrollo de diferentes actividades de este sector, según (Alcaldía de Armenia, 2008) para el año 1996 el municipio de Armenia contaba con aproximadamente 1.700 predios rurales y para el año 2004 era de 8.400.

Podemos resaltar que, gracias al incremento turístico, el departamento del Quindío ha invertido en mejoras en la infraestructura vial, se puede notar como las vías que se dirigen hacia los centros y atractivos turísticos preferidos de los visitantes en la actualidad cuentan con grandes mejoras, facilitando el acceso.

Luego del terremoto de 1999 el área urbana de Armenia empezó a expandirse de Sur a Oriente ampliando su perímetro urbano con el proceso de reconstrucción generando presión en las coberturas agrícolas, evidenciando la desaparición de veredas rurales, es de aclarar que si bien el terremoto del 99 contribuyó a la expansión urbana, no es el único factor que generó la migración de los habitantes del campo a la ciudad, factores como la violencia, las malas condiciones para la tenencia de la tierra, el fortalecimiento de la agroindustria donde aprovechaban la situación y contrataban mano de obra barata proveniente del campo, hizo que Armenia para el 2005 tuviera una población de 280,881 habitantes con el 97% concentrados en su área urbana (DANE, 2005).

7.3 ANÁLISIS DE REFERENTES HISTÓRICOS Y MULTITEMPORALES

El cultivo de plátano tuvo un incremento considerable en la cantidad de hectáreas sembradas en el municipio a costa de las dos crisis por las que atravesó el cultivo de café, como lo fue la ruptura del pacto cafetero presente en 1989 y la segunda crisis cafetera ocasionada por enfermedades como la broca y la roya entre 1993 y 1995, según lo indica (Perfetti et al., 2001) en el año 2001 se registró el precio externo más bajo del café en 180 años; en la actualidad el cultivo de plátano ha llegado a posicionarse como uno de los productos junto con el café, mas importantes en la economía del departamento del Quindío.



Otro factor determinante que impulso la siembra del cultivo de plátano fue la reducción en los costos de producción y mantenimiento debido a que se redujo significativamente el número de operarios necesarios para mantener una ha del cultivo, además favorece el hecho que quien compra la producción maneja su propio personal de corte, empaque y embalaje situación que favorece directamente al propietario del cultivo reduciendo los costos de forma significativa.

De acuerdo con el último informe EVAS (2014-2015) los cultivos de plátano y banano han tenido adelantos en tecnología y productividad, a través de la aplicación y alcance de certificación en buenas prácticas agrícolas, que inmersas en proyectos de agronegocios o alianzas productivas, han garantizado a los productores la venta segura y a buen precio de sus productos; además de la implementación de paquetes tecnológicos integrales, donde los productores reciben en contraprestación, por la entrega de un producto de calidad, una asistencia técnica permanente e insumos que les facilita el proceso de producción, una mayor productividad en sus predios y mejores ingresos para sus familias, según (Toro, 2010) la producción de “plátano independiente” aumento 133,91 toneladas al año y el cultivos de plátano tradicional obtuvo una perdida de 13,126 hectáreas, este cambio se dio por la especialización y tecnificación del cultivo.

El cultivo de café ha bajado significativamente su producción en hectáreas, a pesar de la importancia que tiene a nivel social, ambiental, económico y de uso del suelo para la ciudad. Según (DANE), la caficultura fue de vital importancia para el Quindío, el departamento llego a registrar la mayor producción de grano por área sembrada caracterizado por su suelo de excelente calidad, adicional contaba con el indicador más alto de necesidad básicas insatisfechas cubiertas, dado que la bonanza cafetera promovió la inversión en salud, educación, bienes y servicios públicos pues se contaba con agua, energía eléctrica, telefonía y alcantarillado e infraestructura vial.

A causa de la ruptura del pacto cafetero del cual hacían parte unos 50 productores de café entre ellos Colombia quienes se vieron beneficiados por aproximadamente 30 años hasta 1989, allí el país entro en crisis disminuyendo el ingreso de divisas, donde se llegó a pagar por libra de café US\$0,69, precio nunca visto en la historia del café según lo menciona (Revista Dinero, 2013). Hacia finales del siglo XX la producción de café paso por una segunda crisis con la llegada a Colombia enfermedades como la roya y la broca, en ese entonces el país no estaba preparado para el ejercer control de las enfermedades presentes en el café, esto fue motivo del incremento de los costos de producción por los elevados precios en los insumos



y obligando a los caficultores a talar sus cultivos de café para evitar la propagación de las enfermedades, de esta manera se vieron obligados a buscar otras alternativas de ingresos para asegurar el sustento de sus familias, empezando a sembrar plátano, cítricos, pastos y otros cultivos, además surge el turismo en la región.

Otro factor importante es que no se está dando el relevo generacional en el campo, la mano de obra cafetera está envejeciendo, sus hijos y nietos están migrando a la ciudad, ya que en la zona rural no ven oportunidades de trabajo, como consecuencia la ciudad presenta problemas de desplazamiento, inseguridad, prostitución, aumento de desempleo, informalidad laboral, entre otros problemas sociales.

Las coberturas de guadua y bosque de igual manera han disminuido en áreas entre los años 1998 y 2015, estos cambios presentes en el municipio de Armenia se deben a factores biofísicos como la geología, la topografía, el relieve y factores sociales como la dinámica de poblamiento y ocupación del territorio, los cuales definen el uso del suelo. En sus inicios el área urbana del municipio se estableció en la parte plana, pero el crecimiento urbano obligo a ir urbanizando las partes altas de las microcuencas, involucrando áreas de bosques y quebradas al perímetro urbano, según este proceso trae consigo impactos como la tala de bosques y guaduales ocasionando fragmentación de los ecosistemas, construcción sobre suelo de protección, contaminación hídrica, asentamientos humanos en suelos de protección, pérdida de hábitat que ofrece alimentación y vivienda a la fauna e inseguridad alimentaria.

Otro factor importante para tener en cuenta es el terremoto que sufrió el municipio en 1999, según la CRQ la deforestación en la ciudad era de 2,75 ha anuales entre 1996 y 1999, después de 1999 con el proceso de reconstrucción, la tasa anual de deforestación aumento al 8,43 has, lo cual evidencio la perdida de los fragmentos boscosos equivalente a 67,42 hectáreas entre 1996 y 2005.

Otra causa que explica la disminución de los fragmentos de guadua y bosque es la intensificación de la producción cafetera, en sus inicios los caficultores sembraban el café con sombrío asociándolo con plátano y bosque, cuando la Federación Nacional de Cafeteros empezaron a introducir otras variedades de café, como la variedad Colombia y Castilla que era inmune a la roya y requerían mejores condiciones de luz, obligaron a los caficultores a talar los bosques y las plantas de plátano que tenían en sus fincan para sembrar el café en terrenos expuestos.

A razón de la crisis cafetera se presentó un incremento en las coberturas de pastos, donde el café dejo de ser negocio para los pequeños y medianos caficultores,



quienes poco a poco fueron cambiando la vocación del suelo incursionando en la siembra de pastos y otros cultivos. La ganadería requería menos mano de obra, por cada 10 trabajadores en caficultura, la ganadería exige solo 1 y requiere de menos insumos haciéndola más atractiva y rentable. El departamento del Quindío obtuvo un proceso de tecnificación de la ganadería, alcanzando niveles de autosuficiencia en el abastecimiento de leche y carne, en los cuales municipios como Armenia, la Tebaida, Quimbaya y Montenegro pasaron de ser cafeteros a municipios ganaderos (Toro, 2010).

Se ha registrado un gran avance en el mejoramiento de los pastos y en la tecnificación que se ha ido implementando, es así como el área de praderas ha sido mejorado, teniendo un aumento del 36%, caso contrario en de la pradera tradicional que ha presentado una disminución, de igual manera hubo un aumento en los cultivos forrajeros y silvopastoriles. Lo anterior refleja el interés con el que cuentan los ganaderos por tecnificar sus coberturas. Según EVAS (2014-2015) el número de cabezas de ganado ha aumentado considerablemente al pasar de 956 cabezas de ganado en 1996 a 4.922 en 2015.

El área urbana del municipio de Armenia presenta un incremento en hectáreas debido a factores como la migración de las personas habitantes del campo a la ciudad, esta situación se ve impulsada por las precarias condiciones con las que cuenta el sector agrario, donde el campesino ya no tiene los medios propicios para su sustento y el de sus familias debido a la mano de obra barata, hay más pobreza rural, así que se han visto obligados a vender sus propiedades y buscar mejores oportunidades en la ciudad, a su vez trae como consecuencias desplazamiento, desempleo, inseguridad, prostitución y demás problemas sociales; según la entre la década de los años 50 y 60 el departamento del Quindío contaba con una población rural equivalente al 70% y la población urbana llegaba al 30%, para el 2015 se presentaba el caso contrario, entre el 70 y 80% de la población vive en el área urbana y solo entre el 20 y 25% de la población se encuentra asentada en el área urbana, como lo menciona en las últimas cinco décadas el municipio paso de ser un municipio rural a ser urbano, teniendo un crecimiento de sur a occidente, donde la mayoría de su población se encuentra concentrada en la cabecera municipal, según cifras del (DANE, 2005) el municipio contaba con un total de 272,574 habitantes de los cuales el 97.2 % residen en el casco urbano y el 2.7 % en el área rural, es así como Armenia presenta la densidad más alta del país con 2.223 hab/km².

En concordancia con (Mejía, 2006) el país ha invertido sus recursos en el desarrollo de las ciudades dejando de lado la zona rural, por la cercanía que tiene el área



urbana de Armenia con el área rural lo hace un factor de fácil expansión hacia zonas de periferia; se espera que en mediano plazo desaparezcan las cuatro veredas de la zona norte del municipio, trayendo consigo impactos sobre la biodiversidad.

En el ítem Otros, se encuentran incluidos los cultivos transitorios y cultivos permanentes excepto café y plátano. De acuerdo con el análisis de la información bibliográfica se refleja un aumento en dichas coberturas, este cambio empieza a darse después de la crisis cafetera, donde cultivos como el aguacate, los cítricos, banano, yuca, tomate chonto, piña, entre otros, empezaron a ser más rentables que el café cambiando la vocación de los suelos del municipio. El factor clima y el tipo de suelos también son determinantes para los cambios del uso de coberturas, de acuerdo con (Toro, 2010) las zonas altas, con suelos de otra aptitud y menor estructura vial, donde residen pequeños productores se presentaron menos cambios en vocación de suelo persistiendo en la producción cafetera, por lo menos hasta el cambio en la estructura de tenencia. Luego se empezó a sembrar pastos y frutales de clima frío, ya en los últimos años se orientó el cambio hacia cítricos, plátano y banano; en las zonas bajas donde hay presencia de un productor más empresarial se giró hacia los cultivos de plátano, cítricos y ganadería tecnificada.

La mano de obra campesina está envejeciendo, de acuerdo a los resultados arrojados por las entrevistas el promedio de edad de los agricultores es de 59 años, como ya se ha mencionado en el campo hay una “ruptura generacional”, según hace referencia (Toro, 2010) los trabajadores ya no se consideran parte del campo, se ven como simples jornaleros, como consecuencia no se cuenta con el interés por el conocimiento de las labores agrícolas, hay mayor rotación de personal en las fincas, pérdida de identidad, entre otros. El 24% de las personas entrevistadas son residentes provenientes de otras zonas, con otros apegos culturales, otra cultura gastronómica, fomentando la ausencia de los saberes y tradiciones locales, además cambian las actividades productivas del municipio pasando de lo agro a actividades recreativas impulsadas por el sector turístico, según lo afirma el censo agropecuario de 2014, no se están desarrollando actividades agropecuarias en 35% de los predios rurales, evidenciando un cambio en la ocupación del territorio y posibles conflictos de usos de suelo con otros sectores productivos. El 93% de las fincas entrevistadas tienen coberturas de plátano y café en su mayoría de iguales extensiones, también sobresalen coberturas frutales, guadua, hortalizas, cultivos de pan coger y pastos, confirmando así los cambios en el uso del suelo representados en los datos bibliográfica.

8. DISCUSIÓN GENERAL

Tanto la información obtenida con el análisis multitemporal como los datos obtenidos de la revisión bibliográfica concuerdan en una disminución de la cobertura de guadua y bosque en el municipio de Armenia. Esta situación implica una amenaza para la estructura ecológica principal definida como “la base ambiental que soporta el territorio y qué contiene los principales elementos naturales que dan sustento a los procesos ecológicos esenciales del territorio, cuya finalidad principal es la preservación, conservación, restauración, uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables, los cuales brindan la capacidad de soporte para el desarrollo socioeconómico de las poblaciones”. Decreto 3600 de 2007.

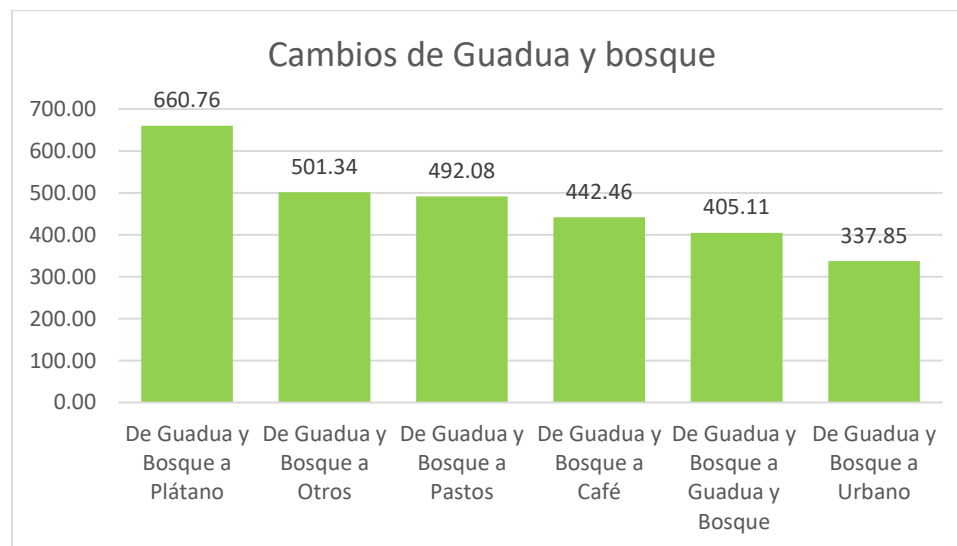


Ilustración 17. Cambios de la cobertura de guadua y bosque durante el periodo 1998-2015. Elaboración propia

En la *Ilustración 17*, se muestra como la cobertura de Guadua y Bosque ha sido la más afectada durante el periodo 1998-2015, situación que pone el riesgo la estabilidad ecológica del municipio de Armenia, teniendo en cuenta que esta cobertura alberga características únicas para el mantenimiento del patrimonio ambiental, sin mencionar la variedad de servicios ambientales que de allí se derivan.

Dicha estructura está conformada por la cobertura boscosa presente en el sistema municipal de áreas protegidas, en la red de micro cuencas y drenajes urbanos y rurales del municipio, en las áreas comprendidas como suelos de protección ambiental y en la red de parques y áreas verdes; este patrimonio ambiental permite la protección de las cuencas hidrográficas la protección de la biodiversidad biológica propia de la zona y el suministro de agua de fuentes superficiales en la ciudad de Armenia; sin embargo, se evidencia una disminución de las áreas naturales y un



aumento significativo de las áreas urbanas y de la población, lo que significa que los servicios ambientales ofrecidos por las áreas naturales como lo son al abastecimiento de recurso hídrico de calidad, la fijación de carbono, producción de oxígeno, regulación del clima y la protección de la biodiversidad biológica representada en la fauna y la flora propias del territorio se ven muy comprometidos y son cada vez menores para una población que está en aumento, una prueba de ello se muestra en el diagnóstico ambiental realizado para el plan de desarrollo del departamento del Quindío en torno a la calidad y cantidad de agua que para el año 2025 el 41% de la población no contara con disponibilidad de agua para su consumo.

La Ilustración 18, se muestran las áreas que ha ganado la cobertura de bosque durante el periodo 1998-2015, cifras que son alarmantes teniendo en cuenta los resultados reflejados en la Ilustración 17, donde se evidencia el alto costo que han tenido que pagar los bosques para satisfacer la demanda creciente de suelos para la generación de bienes y servicios.

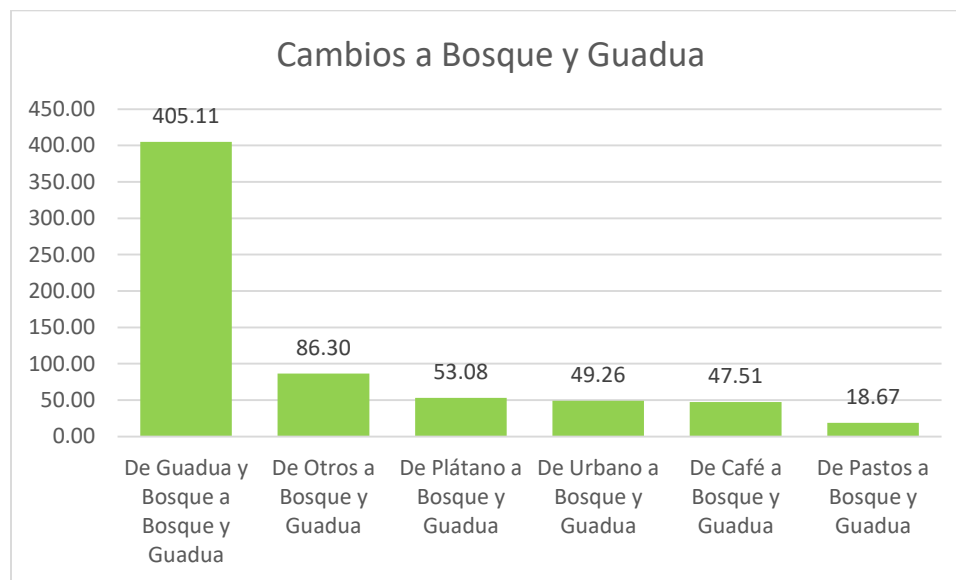


Ilustración 18. Crecimiento de la cobertura de guadua y bosque durante el periodo 1998-2015.
Elaboración propia

De igual forma el cambio en la cobertura de bosques impacta negativamente en el aumento de la temperatura tal como se indica en el diagnóstico ambiental del Quindío el cual indica que en 50 años, el departamento podrá presentar un aumento de temperatura promedio de hasta 1,5°C sobre el valor actual, y para final de siglo tendrá un aumento de 2,3 °C, las consecuencias que estos aumentos en la temperatura podrían traer al municipio de Armenia son: la disminución en la oferta hídrica de las corrientes superficiales, la reducción en la productividad agropecuaria



y la potencial incidencia de fenómenos climáticos extremos que pueden a su vez incrementar procesos erosivos y fenómenos climáticos extremos.

Es posible evidenciar como la cobertura de plátano ha sido la que más área le ha arrebatado a la cobertura de bosque, situación que se entiende, teniendo en cuenta que, según el censo agropecuario realizado en el año 2014, el departamento del Quindío ocupa el noveno puesto en área cosechada a nivel nacional, la Ilustración 14, muestra que para el año 1998 el cultivo de plátano se encontraba distribuido de manera homogénea en el municipio, pero para el año 2015 esta homogenización se rompió completamente ya que como se muestra la misma Ilustración 14, el área sembrada en plátano se extiende a la parte central del municipio, este hecho ofrece elementos para asegurar que uno de los principales pilares de la economía en Armenia está asociado a la producción de plátano.

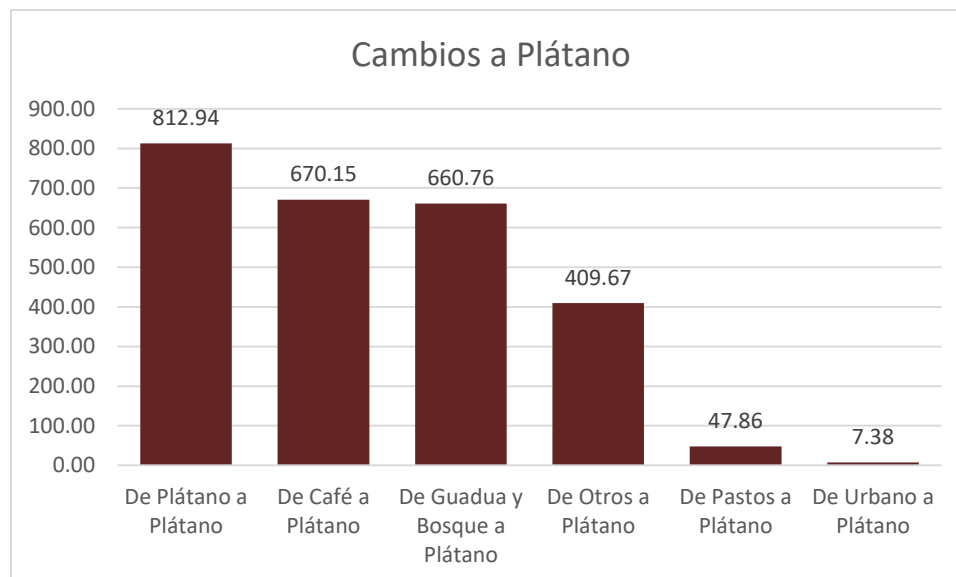


Ilustración 19. Crecimiento de la cobertura de plátano durante el periodo 1998-2015.
Elaboración propia

La ampliación de la frontera urbana genera presiones significativas sobre la cobertura agrícola y de bosque a su vez se considera una amenaza sobre los servicios ecosistémicos que ofrecen estas coberturas en el territorio, situación que vulnera el propósito de alcanzar un desarrollo rural productivo y sustentable, la Ilustración 20, muestra la cantidad de hectáreas ocupadas por la cobertura de suelo urbano desde el año 1998 hasta el 2005, allí se evidencia como el crecimiento poblacional ha obligado a extender las áreas urbanas.

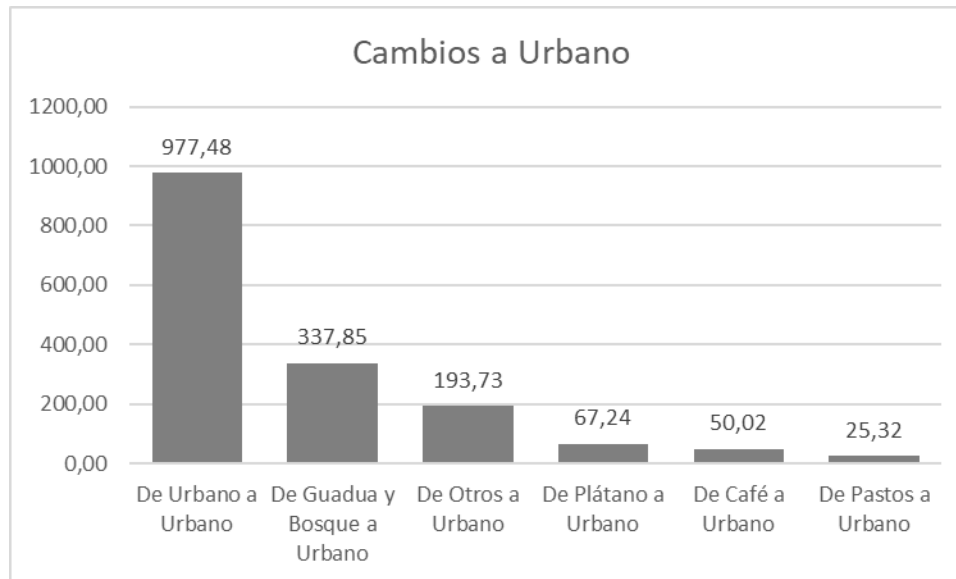


Ilustración 20. Crecimiento del área urbana.
 Elaboración propia

Como lo expone (Tickell, 1997), las ciudades cuanto más grandes y complejas son, mayor es su dependencia de las áreas circundantes y vulnerabilidad frente al cambio del entorno, esto ayuda a explicar por qué la mayoría de guadua y bosque que se encontraba en la periferia del municipio de Armenia han sido absorbidos o modificados para dar paso a desarrollos urbanísticos que buscan dar soluciones de vivienda o soluciones viales que acojan el crecimiento del parque automotor, sin contar que de acuerdo al plan de Desarrollo Municipal el aumento en la cobertura de pastos y la parcelación de predios han propiciado escenarios que amenazan las funciones ecológicas que cumple la cobertura de bosque.

La cobertura de café es una de las que presento mayor estabilidad en cuanto a las zonas donde se cultiva si nos remitimos la Ilustración 14 se observa como para el año 1998 los cultivos estaban distribuidos desde el sur de armenia hasta el oeste, para el año 2015 la situación es similar con la única diferencia que las áreas ya no se presentan como pequeños parches dentro del mapa sino, ya estás ocupan espacios mayores, lo que nos indica que las fincas que hoy producen el grano lo hacen de manera extensiva o monocultivo, esto no quiere decir que para el año 2015 el área sembrada en café haya aumentado pues la realidad nos muestra que disminuyo siendo reemplazada en su mayoría por cultivos de plátano y suelo urbano; es evidente que lo que ocurrió durante este periodo fue que el cultivo de café se concentró en zonas muy específicas el grandes latifundios; el Ilustración 21 se muestran las coberturas que aportaron al mantenimiento del cultivo de café como la segunda cobertura con mayor área ocupada después del cultivo de plátano.

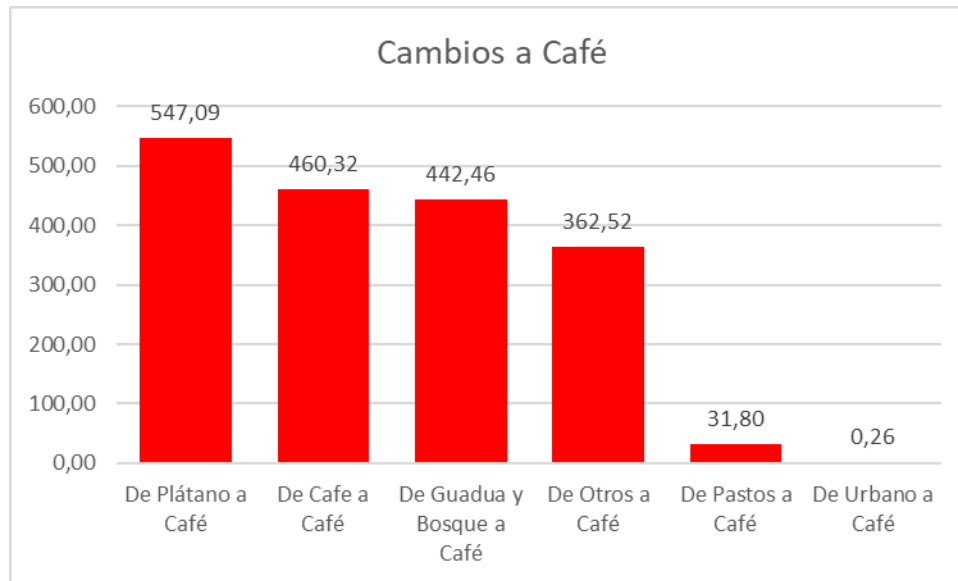


Ilustración 21. Crecimiento de la cobertura de café durante el periodo 1998-2015.
Elaboración propia



8. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que la cobertura con mayor ganancia de área para el 2015 es pastos, con una diferencia en comparación al año 1998 de 1333,62 ha, seguido por el área urbana que presenta un incremento de 1000,98 ha, la cobertura de plátano también presenta un importante crecimiento de 540,22 ha, mientras que para la cobertura de guadua y bosque se evidencia la mayor pérdida con un registro de 1989,88 ha con respecto al año 1998, la cobertura que más estabilidad presenta en cuanto a pérdida o ganancia de área es la de café con una diferencia de tan solo 14,77 ha, se hace necesario recordar que estos datos son producto del análisis de las imágenes Landsat 5 TM y 8 OLI_TIRS por lo que están sujetas a la calidad y definición de las mismas.

El uso de los sistemas de información geográfica para representar análisis multitemporal permite visualizar los cambios en la estructura ecológica de los territorios y determinar el estado de los recursos naturales en un área determinada; por lo tanto, son un insumo fundamental para el monitoreo de cobertura boscosa y seguimiento a procesos de conservación de áreas naturales, además de brindar información actualizada y precisa para la toma de decisiones.

Se evidencia que los cambios de cobertura han sido influenciados por las dinámicas de ocupación del territorio, teniendo en cuenta el crecimiento en la parcelación de predios para el establecimiento de viviendas campestres y fincas de recreo que responden al aumento de la demanda turística y la entrada de foráneos que ven el municipio como un lugar atractivo para establecerse y que impactan de manera directa la cobertura de bosque.

La transformación de los usos del suelo en el municipio de Armenia ha tenido incidencia directa sobre la biodiversidad, reduciendo la prestación de servicios ecosistémicos por parte del patrimonio ambiental que se ha visto reducido por la pérdida de cobertura boscosa, teniendo en cuenta que esta fue la cobertura que más área aportó al crecimiento o expansión de las demás coberturas.

El análisis de referentes históricos permite obtener información precisa y detallada, teniendo en cuenta que esta proviene de investigaciones realizadas por entes académicos y estatales donde se cuenta con un trabajo de campo exhaustivo que permite cuantificar de manera precisa datos socioeconómicos y ambientales a diferencia del análisis multitemporal que por sus características imposibilitan un análisis detallado de las coberturas y usos del suelo.



9. RECOMENDACIONES

Para la selección de las imágenes satelitales se sugiere tener en cuenta la calidad, nitidez y nubosidad de la imagen, además de guardar una secuencia o periodo similar entre los años a observar, solo de esta manera se apreciarán de manera eficiente los cambios en coberturas y usos del terreno

En el proceso de clasificación supervisada es inminente contar con un conocimiento previo del área de estudio, debido a que de esta forma se podrán comprar los resultados arrojados, si dichos resultados no cuentan con una similitud se debe escoger nuevamente puntos de referencia hasta lograr un resultado acertado.

Es propone para futuras investigación sobre análisis multitemporales contar además de las imágenes satelitales, con informes de campo realizados por fuentes confiables como entes académicos y estatales con el fin de obtener un nivel de detalle más explícito sobre las coberturas del territorio estudiado.

Con el fin de obtener una información más explícita sobre los cambios en los usos de suelo y coberturas de un territorio, se sugiere tener en cuenta referentes bibliográficos extraídos de investigaciones, revistas, informes, libros y todo tipo de documentación que permita contar con una línea base que explique estos cambios.

Se recomienda contar con hechos históricos que permitan comprender las generalidades que han propiciado cambios en el uso del suelo dentro del territorio estudiado, con el fin de entender las dinámicas sociales, políticas, culturales y económicas.

Teniendo en cuenta el acelerado crecimiento del área urbana, se plantea realizar estudios que apunten a identificar cuáles pueden ser los impactos ambientales reflejados en el municipio de Armenia de acuerdo a estas dinámicas de expansión.

Se recomienda tener en cuenta los resultados arrojados del análisis multitemporal, para la realización de futuros planes de ordenamiento territorial, ya que este define de manera precisa las fronteras agrícolas y urbanas de un territorio



10. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Agudelo, F. A., Bermúdez, A., Botero, N., Cadena, O., Grisales, J. J., Lopera, J., . Valencia, G. (2003). Compendio de historia del Quindío. Armenia: Editorial Universitaria de Colombia Ltda.
- Alcaldía de Armenia. (2008). *Diagnostico Municipal Armenia 2008-Departamento Administrativo de Planeación Municipal Plan de Ordenamiento Territorial 2009-2023* (Vol. 3.0). Armenia.
- Arango, C. R., Chilito, P. J., & Sifuentes, S. A. (2016). *Análisis multitemporal de la expansión urbana de la ciudad de Popayán, Cauca entre los años 1989, 2002 y 2014*. Manizales.
- Atencia, V. V., Contreras, C. J., & Vergara, H. D. (2008). *Estudio multitemporal de imágenes satelitales con fines de delimitación del complejo bajo san Jorge margen izquierdo (b13) y diagnóstico de zonas intervenidas entrópicamente (agricultura y ganadería)*, . Sincelejo.
- Bernal, V. H., & Montes, G. P. (2015). *Análisis multitemporal de la dinámica en el cambio de uso de la tierra en Manizales durante el período 1969 – 2015 estudio de caso: comuna Ciudadela del Norte, Manizales*. Manizales.
- Bocco, G; Maser, O & Mendoza, M. 2001. La dinámica del cambio de usos del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos deforestación, Investigaciones Geográficas, Boletín, núm. 44, Instituto de Geografía, UNAM, México, 18-38p.
- Caparó, B. A., & Castillo, A. O. (2013). *Análisis multitemporal del cambio de cobertura y uso de la tierra en la MAPANCE, Honduras en el período 2000 – 2010*. Honduras.
- Capote, M. R. (2016). *Análisis multitemporal por medio de clasificación supervisada de imágenes landsat del parque entre nubes de la ciudad de Bogotá para identificar corredores ecológicos*. Colombia.
- Cepal. (s.f.). *Impacto socioeconomico del terremoto en el Eje Cafetero* .
- Chapin III. 1997. Biotic Control over the Functioning of Ecosystems. SCIENCE. 227: 500-504.
- Chuvienco, E. (1995). Fundamentos de Teledetección Espacial. Madrid: Ediciones Rialp S.A.



CORPONARIÑO. 2008. Actualización del plan de ordenamiento y manejo la cuenca del río Pasto.

Corporacion Autonoma Regional del Quindio. (s.f.). COBERTURAS Y USOS DE LA TIERRA DEL MUNICIPIO DE ARMENIA, DEPARTAMENTO DEL QUÍNDIO, SEGÚN EL METODO CORINE LAND COVER ESCALA 1:10.000. Armenia.

Correa, D; Múnera, A. 2003. Procesamiento digital de imágenes satelitales aplicado a la masificación del cambio en las coberturas vegetales. Departamento de Ciencias Forestales. Medellín, Universidad Nacional de Colombia. 170p.

Cotler, A. 2003. "características y manejo de suelos en ecosistemas templados de montaña". 153-161. En: Sánchez, et al. 2003. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. Secretaria de Medio Ambiente.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2005). Censo de población nacional. Recuperado de <http://www.dane.gov.co/>

Departamento Administrativo de Planeación y Evaluacion Municipal. (1999). Plan de Ordenamiento Territorial de Armenia . En D. A. Municipal, *Plan de Ordenamiento Territorial de Armenia* (pág. 14). Armenia .

Feijoo, A.; Castaño, JM.; Rivas, A.; Lavelle, P.; Zúñiga, MC.; Quintero, H.; Murillo, BE.; Molina, LJ. 2014. Servicios ecosistémicos generados por diversos arreglos del cultivo de plátano en el Eje Cafetero Colombiano. Universidad Tecnológica de Pereira.

Fonseca, J. J., & Gómez, S. M. (s.f.). *Análisis multitemporal mediante imágenes Landsat caso de estudio: cambio de área laderas de la ciénaga de Tumaradó parque natural Los Katíos*. Bogotá D.C.

Galindo, G. G., Espejo, V. O., Rubiano, R. J., Vergara, L. K., & Cabrera, M. E. (2014). Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia.V 2.0. En *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM* (pág. 51). Bogota D.C.

Garrain, D; Vidal, R & Franco, V. 2007, "Ocupación y transformación del suelo de las carreteras españolas". Proyecto: Indicadores de impacto y vulnerabilidad de las infraestructuras de transporte. Concurso Publico de Ayudas a la Investigación 2005 Orden FOM/2376/2005.



- Glennon, R; 2006. Arcmap tutorial. Environmental systems research Institute – ESRI. United States. 58p.
- Gobernación del Quindío, Secretaría de Agricultura, Desarrollo rural y Medio Ambiente, Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria - UMATA. (2015). *Evaluaciones Agropecuarias 2014-2015*. Armenia.
- Gomez, A., Restrepo, G., & Gonz, P. E. (Junio de 2004). *Ensayos sobre Economía Regional Turismo en el Eje Cafetero*. Manizales: Banco de la República de Colombia. Obtenido de <http://www.banrep.gov.co/es/eser-12>
- González, B. L., & Romero, R. Á. (2013). *Análisis multitemporal de los cambios de la cobertura de la tierra e incidencia del cultivo de palma en el territorio del municipio de Villanueva Casanare*. Bogotá D.C.
- Hernández, R. O. (2012). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del municipio del Distrito Central años 1987 y 2006*. Tegucigalpa, M.D.C.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI-IGAC. 2007. Estudio semidetallado de suelos para fines agrícolas del sector plano del municipio de Valledupar. En: Revista Instituto Geográfico Agustín Codazzi 5(13). Subdirección Agrológica. Bogotá, Colombia.
- Jaramillo, D. (2016). *Análisis multitemporal de la expansión urbana del municipio de Santiago de Cali, Colombia*. Manizales.
- Juppenlatz, M. 1990. "The role of urban surveys in third world development". ITC journal. 4: 352- 362.
- Lambin, E. 1994. Modelling Deforestations Processes. A review. Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites TREES series: Research Report No. 1. Publicado por la commission Europea. Luxemburgo. 113pp.
- Lambin, E. 1997. Modelling and monitoring land-cover change process in tropical Regions Progress in Physical Geography, vol. 213. 375-393p.
- Lambin, E. F., Baulies, X, Bockstael, N., Fisher, G. y Krung, T. 1999. Land- use an land cover change LUCC: implementation strategy. IGBP Rep. 48, IHDP Rep. 10, Int. Geosph Biosph, Program., Int. Hum. Dimens. Glob. Environ. Change Program., Stockholm. 125 pp.
- Layton, J. C. (4 de Diciembre de 2017). *La Patria.com*. Obtenido de <http://m.lapatria.com/economia/caficultura-de-caldas-90-anos-grano-grano-400906>



- López, C., Cano, M., & Rodriguez, D. (2006). *Cambios Ambientales en Perspectiva Histórica*. Pereira: Postergraph S.A.
- López, G. 1999. *Cambio de uso de suelo y crecimiento urbano en la Ciudad de Morelia*. Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán.
- Mejía, O. W. (2006). *Las migraciones como posible tema para un informe de desarrollo humano en el Eje Cafetero*. Pereira.
- Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Codazzi, Corporación Autónoma Regional del río Grande de la Magdalena. (2018). *Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000*. Bogotá D.C.
- Meyer, W & Turner, B. 1992. Human population growth and global land-use/cover change, *Annu. Rev. Eco. Syst*; núm. 23, 39-61p.
- Naciones Unidas CEPAL. (1999). *El terremoto de enero de 1999 en Colombia: Impacto socioeconómico del desastre en la zona del Eje Cafetero*.
- Nieto, O. L., Jimenez, L. F., & Nieto, M. (2017). *VARIACIÓN DE COBERTURAS FORESTALES Y OCUPACIÓN DEL TERRITORIO EN EL MUNICIPIO DE ARMENIA 1939-1999*. *Luna Azul*, 22.
- ONU. 2000. *Manual de Sistemas de Información Geográfica y Cartografía Digital*. [En línea] Estudios de Métodos. Serie F No. 79. Nueva York. (Inglés - Español). [Disponible en: <http://unstats.un.org>.]
- Ordoñez, H. A., & Serna, C. J. (2015). *Análisis superficial y multitemporal de imágenes LANDSAT 7 ETM+ Y LANDSAT 8 OLI TIRS en el proyecto carbonífero la Luna entre los años 2001 y 2015*. Manizales.
- Páez, G. B., & García, C. A. (2016). *Análisis multitemporal del retroceso glaciar en la Sierra Nevada de Santa Marta-Colombia-para los periodos 1986,1996,2007 y 2014*. Bogotá D,C.
- Peña, S. J. (2015). *Análisis multitemporal del retroceso glaciar de la Sierra Nevada del Cocuy ubicada en los departamentos de Boyacá y Arauca entre los años 1992, 2003 y 2014*. Bogotá D.C.
- Perfetti del C, Mauricio; Velásquez M, Liliana; Ortiz G, Oscar; Hernández O, José; Arango G, Pablo. (2001). *Cuantificación de los impactos micro*



macroeconómico y social de la crisis cafetera en Colombia. Centro de Estudios Regionales, Cafeteros y Empresariales –CRECE

- Quattrochi, D & Goodchild, M. (1997). *Scale in remote sensing and GIS*. Lewis Publishers. United States of America. 406p
- Rebollo, B. M. (s.f.). *Estudio multitemporal para la determinación de cambios en el uso del suelo en el complejo de páramos Tota - Bijagual - Mamapacha para el periodo 1992 – 2012*. Bogotá D.C.
- Revista Diario La Economía. (19 de Febrero de 2015). *Caída en la producción cafetera del Quindío: “La región milagro”*. Obtenido de <http://diariolaeconomia.com/erese-una-vez/item/19-caida-en-la-produccion-cafetera-del-quindio-la-region-milagro.html>
- Revista Dinero. (21 de Agosto de 2013). *El fin del Pacto Cafetero*. Obtenido de <http://www.dinero.com/edicion-impres/caratula/articulo/el-fin-del-pacto-cafetero/182429>
- Rozzi, R et. al. 2001. ¿Qué es la biología de la conservación? En Primack, R et. al. 2004. “Redes complejas en la dinámica social” en INGURUAK. Revista vasca de Sociología y Ciencia Política.
- Ruiz, V. 2013. Estación Experimental para el Estudio del Trópico Seco “El Limón”. Facultad Regional Multidisciplinaria Estelí. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN Managua/FAREM Estelí), 49 Estelí, Nicaragua.
- Santillán, N. D. (2016). *Análisis multitemporal de usos y coberturas de la tierra en el período 2005-2016 en el valle de Sico-Paulaya, Honduras*. Honduras.
- Schowengerdt, R. (1997). *Remote Sensing: Models and methods for image processing*. Academic Press. Tucson, Arizona: 522p
- SER. 2004. Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. Natural capital and Ecological Restoration. An occasional paper of the SER. Science and Policy Working Group.
- Toro, A. C. (2010). *INCIDENCIA DEL CAMBIO PRODUCTIVO EN UNA SOCIEDAD REGIONAL: Caso del Plátano en el Quindío*. Bogotá D.C.
- Toro, Z. G. (2004). Eje Cafetero colombiano: compleja historia de caficultura, violencia y desplazamiento. *Revista de Ciencias Humana UTP*, 127- 149.



Zimmerer, K & Young, K. 1998. Nature's Geography: new conservation in developing countries. The University of Wisconsin Press. USA. 3-34p.

Zúñiga, M.C., Feijoo, A., Quintero, H., Aldana, N.J., Carvajal, A. 2013. Farmers' perception of the role played by earthworms in soil life. *Applied Soil Ecology*, 69: 61-68.