

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA EXPANSION URBANA DE LA CIUDAD DE  
POPAYÁN, CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1989, 2002 Y 2014**

**ROMÁN ADOLFO ARANGO CARVAJAL  
JUAN CARLOS CHILITO PIAMBA  
ALEJANDRA CIFUENTES SANABRIA**



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

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA EXPANSION URBANA DE LA CIUDAD DE  
POPAYÁN, CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1989, 2002 Y 2014**

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

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

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Agradecemos a Dios por el gran grupo de trabajo y las excelentes personas que conocimos.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	10
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	11
2. OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GENERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. JUSTIFICACIÓN	16
4. MARCO TEÓRICO	18
4.1 Crecimiento Urbano	18
4.1.1. Estructura Territorial Urbana	18
4.1.2 Proceso de Urbanización de la Ciudad.	20
4.1.3 Clasificación del Suelo	21
4.2 IMPACTOS AMBIENTALES	23
4.3 PELIGROS Y RIESGOS	25
4.4 TELEDETECCIÓN E IMÁGENES LANDSAT.	26
4.5 ANTECEDENTES	28
5. METODOLOGÍA	30
5.1 TIPO DE TRABAJO	30
5.2 PROCEDIMIENTO	31
5.2.1 Fase 1. Recolección y análisis de información secundaria	31
5.2.2 Fase 2. Tratamiento de la Información.	35
5.2.3 Fase 3. Análisis Espacio-temporal y Zonificación	49
6. RESULTADOS	51
7. CONCLUSIONES	58
8. RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	60

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1. Localización de la ciudad de Popayán en el Departamento de Cauca. .....	13
Ilustración 2. Mapa de la Ciudad de Popayán. ....	13
Ilustración 3 Vista General de la Ciudad de Popayán.....	14
Ilustración 4. Fotografía aérea 19 de Abril de 1983 (Un mes después del Terremoto) .....	19
Ilustración 5. Cronología Landsat .....	28
Ilustración 6. Imagen Satelital Año 1989.....	32
Ilustración 7. Datos de la imagen año 1989.....	32
Ilustración 8. Imagen Satelital Año 2002.....	33
Ilustración 9. Datos de la imagen año 2002.....	33
Ilustración 10. Imagen Satelital Año 2014.....	34
Ilustración 11. Datos de la imagen año 2014 .....	34
Ilustración 12. Ubicación área de estudio en Imagen Satelital.....	36
Ilustración 13. Subset (Recorte) Imagen Satelital año 1989 combinación 4-3-2....	37
Ilustración 14. Subset (Recorte) Imagen Satelital año 2014 Combinación 4-5-1 ...	37
Ilustración 15. Clasificación No Supervisada Color Año 1989 .....	38
Ilustración 16. Clasificación No Supervisada Blanco y Negro Año 2002 .....	38
Ilustración 17. Clasificación No Supervisada Blanco y Negro Año 2014. ....	39
Ilustración 18. Signature Bandas 7 para la Imagen año 1989 .....	41
Ilustración 19. Signature Bandas 11 para la Imagen año 2014 .....	41
Ilustración 20. Signature Statistics año 1989 .....	42
Ilustración 21. Signature Statistics año 2014 .....	42
Ilustración 22. Imagen supervisión clasificada y atributos año 1989.....	43
Ilustración 23. Imagen supervisión clasificada año 2002. ....	44
Ilustración 24. Imagen supervisión clasificada y atributos año 2014.....	44
Ilustración 25. Atributos imagen supervisión clasificada año 2002. ....	45
Ilustración 26. Imagen Recodificada con las coberturas analizadas año 1989. ....	46
Ilustración 27. Imagen Recodificada con las coberturas analizadas año 2002. ....	46
Ilustración 28. Imagen con Realce para las coberturas analizadas año 1989. ....	47
Ilustración 29. Imagen con Realce para las coberturas analizadas año 2002. ....	48
Ilustración 30. Imagen con Realce para las coberturas analizadas año 2014. ....	48
Ilustración 31. Mapa Infraestructura Popayán con imagen de fondo de coberturas para el año 1989. ....	51
Ilustración 32. Mapa Infraestructura Popayán con imagen de fondo de coberturas para el año 2002. ....	52
Ilustración 33. Mapa Infraestructura Popayán con imagen de fondo de coberturas para el año 2014. ....	52
Ilustración 34. Mapa Comparativo Cobertura Urbana Popayán, años 1989, 2002 y 2014.....	53
Ilustración 35. Mapa Comparativo Cobertura Urbana Popayán, años 1989, 2002 y 2014, Google Earth.....	54

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Crecimiento de la ciudad de Popayán en diferentes periodos. ....	20
Tabla 2. Imágenes Seleccionadas .....	31
Tabla 3. Signatures para las Clasificaciones Supervisadas año 1989, 2002 y 2014 .....	43
Tabla 4. Incremento del perímetro en el tiempo de estudio el municipio de Popayán.....	54
Tabla 5. Incremento de la Expansión Urbana para el periodo 1989 – 2014 municipio de Popayán.....	55

## LISTA DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
Gráfico 1. Incremento (KM) y Tasa (Km/Año) Expansión Urbana Popayán, durante el periodo de estudio (25 años).....	55

## GLOSARIO

**Desarrollo Sostenible:** definido como aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro para atender sus propias necesidades. Gro Harlem Brundtland.

**Suelo de Expansión:** Son áreas con muy buenas condiciones de urbanizar en el periodo de vigencia del POT, teniendo en cuenta como condicionantes, la ampliación de la cobertura del perímetro sanitario y la demanda de nuevas áreas para vivienda. (POT, Popayán)

**Teledetección:** La ciencia y el arte de obtener información acerca de la superficie de la Tierra sin entrar en contacto con ella. Esto se realiza detectando y grabando la energía emitida o reflejada y procesando, analizando y aplicando la información. (Marbelo)

## **RESUMEN**

El crecimiento urbano de las diferentes ciudades Colombianas se viene presentando de manera desorganizada y sin lineamientos de planificación urbana en la mayoría de 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.

**PALABRAS CLAVES:** Expansión Urbana, Clasificación, Desarrollo Sostenible.

## **ABSTRACT**

The urban growth of different Colombian cities has been presented in a disorganized manner and without guidelines for urban planning in most cities and municipalities of the country.

Thus, the main objective of the project was the analysis of urban expansion of the city of Popayan, using Landsat satellite images from the years 1989, 2002 and 2014 encoding four key aspects in the expansive behavior such as: mulch, buildings or buildings, water supply and road infrastructure and evaluating urban sprawl.

The implemented methodology is to produce supervised and unsupervised classifications of Landsat multispectral and panchromatic images, performing compositions determine changes over time (25 years) and space the selected area, using specialized software for this purpose; finally strategies and recommendations that contribute to regional development optimizing resources and sustainable development of the city of Popayan are established.

**KEY WORDS:** Urban expansion, Classification, Sustainable Development.

## INTRODUCCIÓN

La dinámica de poblaciones es uno de los temas de mayor importancia para entender el desarrollo temporal y espacial de las ciudades; en Colombia la información demográfica es amplia y variada; en el periodo entre 1880 a 1930 se caracterizó por un aceleramiento de las tasas de crecimiento paulatino que se acercaba al 2% anual; esto ha sido atribuido según los historiadores, a la mejora de las condiciones higiénicas en las localidades urbanas grandes, particularmente por la construcción de los primeros acueductos y alcantarillados, con el correspondiente impacto en las tasas de morbi-mortalidad de la población.

El desarrollo territorial es la estrategia con la que se busca el crecimiento de las condiciones materiales del territorio, expresables en mejores infraestructuras y mejores condiciones de producción que contribuyen a la generación de una mayor productividad y competitividad territorial. Bajo esta estrategia y desde la perspectiva del desarrollo territorial se crea el Plan de Ordenamiento Territorial - POT - que es en esencia, el pacto social de una población con su territorio.

La planificación del territorio debe propender por el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes; para ello en Colombia se cuenta con tres herramientas: el Plan de Ordenamiento Territorial, el Plan de Desarrollo Municipal y el presupuesto; donde el POT se convierte en un instrumento técnico y normativo de planeación y gestión a largo plazo; es el conjunto de acciones y políticas, administrativas y de planeación física, que orientarán el desarrollo del territorio municipal por los próximos años y que regularán la utilización, ocupación y transformación del espacio físico urbano y rural.

Con los avances tecnológicos en materia de imágenes satelitales (Landsat, Spot), software especializado (Arcgis, Erdas) para clasificación, creación de composiciones, entre otras, se ofrece un amplio espectro para el análisis de datos geográficos posibilitando investigaciones a diversas escalas y magnitudes, ofreciendo una veracidad y realidad a los datos utilizados en las investigaciones, permitiendo la planificación del territorio con los recursos actuales y el desarrollo sostenible de la región.

## 1. ÁREA PROBLEMÁTICA

Según estadísticas de la UNESCO<sup>1</sup>, el crecimiento de la población urbana en Asia y África se duplicará entre los años 2000 y el 2030. Para el 2030 las ciudades y pueblos de los países en vías desarrollo representarán aproximadamente un 81% de la población urbana mundial.

Se estima que para el año 2030 habrá 1,8 millones de habitantes urbanos más que en 2005, los que constituirán cerca de un 60% de la población mundial; se espera que un 95% del incremento de la población urbana ocurra en países en vías de desarrollo, sobre todo en África y Asia. El ritmo de urbanización de los países desarrollados es mucho más bajo e incluso está disminuyendo en alguno de ellos. Los pobres que habitan en las ciudades suelen vivir en asentamientos informales fruto del rápido crecimiento urbano. En América Latina el 77% de la población vive en ciudades, mientras que en África lo hace el 38%. Se espera que estas cifras aumenten durante las próximas décadas si se cumplen las previsiones de crecimiento urbano.

En Colombia, a partir del año 1991 con la redacción de la última reforma de la Constitución, se introdujo el término de Ordenamiento Territorial, y por medio de la Ley 388 de 1997, se ha podido normatizar la planificación física de los municipios, promoviendo como enuncia uno de sus objetivos en el Capítulo I, artículo 5º: "Facilitar la ejecución de actuaciones urbanas integrales, en las cuales confluyan en forma coordinada la iniciativa, la organización y la gestión municipales con la política urbana nacional, así como con los esfuerzos y recursos de las entidades encargadas del desarrollo de dicha política". Gracias a esta normatividad, se ha ido cambiando el modelo anterior de informalidad en el crecimiento de la ciudad. Se observa un incremento en la regulación de la actividad urbanística, la cual ha dado pie para la expedición de las leyes mencionadas y propició la adopción de normas en el ámbito local, canalizadas a través del plan de desarrollo, el cual se convierte en ley de obligatorio cumplimiento mediante el código de construcciones, acuerdo 054 de septiembre 15 de 1993 y los Planes de Ordenamiento Territorial de la ciudad: Acuerdos 508 de Octubre 12 de 2001, 573 de Diciembre de 2003, y 663 de Septiembre 13 de 2007

Los factores que se atribuyen al crecimiento urbano son variados, hasta ahora se destacan autores como Wallner (1975), quien dice que el aumento demográfico de la ciudad se debe a las migraciones, al abandono precipitado e indiscriminado

---

<sup>1</sup> Organización de las Naciones Para la Educación, la Ciencia y la Cultura.  
<http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-30-urban-expansion/>

del campo, a la incorporación de municipios limítrofes, o la erección de las ciudades satélites que se hallan vinculadas funcionalmente a las grandes ciudades. Otros autores como Haig (1927); Clark (1947); y Hoyt (2005) afirman que las vías se convierten en factores importantes de crecimiento urbano, y Parrado (2001) dice que un factor importante de crecimiento urbano es el surgimiento de nuevas zonas residenciales, comercios, equipamientos y servicios.

En Popayán se pueden identificar factores que han influido en el crecimiento urbano, a partir de las propuestas de los autores mencionados en el párrafo anterior y de la información disponible; sin embargo esta ciudad posee unas características particulares que merecen ser tenidas en cuenta a la hora de analizar su crecimiento como son: la topografía, las amenazas naturales que se han materializado, particularmente el terremoto de 1983 y el alto costo de la tierra hacia el sector noroccidental de la ciudad y la proliferación de asentamientos subnormales en las riberas de los ríos Ejido, Pubús, y Molino.

El municipio de Popayán, Cauca, ha venido sufriendo y presentando un proceso de deterioro en sus condiciones ambientales, a causa de la intervención antrópica y el descuido por parte de las instituciones encargadas de dar cumplimiento a las políticas de planificación territorial; que se ve reflejado en un crecimiento urbanístico desordenado hacía las periferias de la ciudad, obedeciendo a intereses personales que conllevan a la generación del riesgo antrópico y aumento de los impactos ambientales del área de estudio.

Por lo tanto la pregunta que busca resolver este proyecto

¿Cuál ha sido la dinámica del crecimiento urbano de Popayán, entre los años 1989 – 2014?

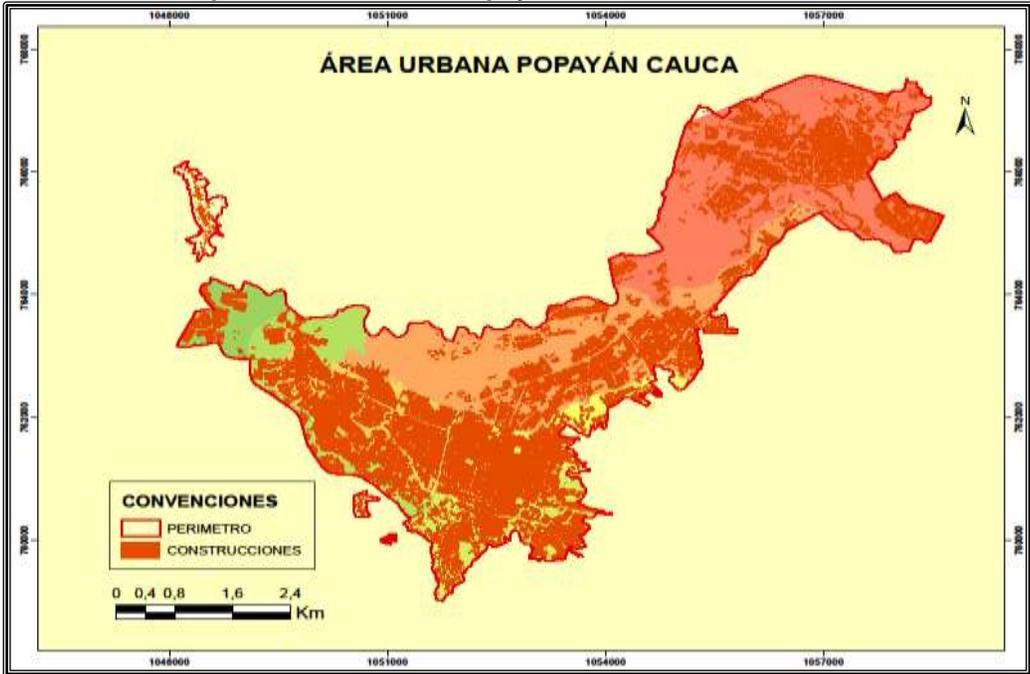
El área del proyecto es Popayán, capital del Departamento del Cauca, cuyo municipio abarca una extensión de 48.319 ha. y su cabecera municipal 2.725 ha., es una ciudad con un clima tropical de 18 grados centígrados promedio, enclavada en los Andes entre las cordilleras Central, hacia el oriente, y Occidental, hacia el occidente, y situada a una altura de 1.760 metros sobre el nivel del mar. Se halla geográficamente ubicada en el sur-occidente de Colombia, hacia la Costa Pacífica, y sobre un hermoso valle denominado Valle de Pubenza, a 2 grados 27 minutos de latitud norte y 76 grados 36 minutos de longitud oeste. Fue fundada el 13 de enero de 1537 por el conquistador español don Sebastián de Belalcázar.

**Ilustración 1. Localización de la ciudad de Popayán en el Departamento de Cauca.**



Fuente: Los Autores

**Ilustración 2. Mapa de la Ciudad de Popayán.**



Fuente: Los Autores

**Ilustración 3 Vista General de la Ciudad de Popayán.**



Fuente: [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com)

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar el análisis multitemporal de la expansión urbana de la ciudad de Popayán, Cauca con el uso de imágenes satelitales Landsat, entre los años 1989, 2002 y 2014.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar temporalmente el área urbana de la ciudad de Popayán con base en cartografía análoga y digital.
- Analizar espacialmente mediante el uso de herramientas Geoinformáticas, la dinámica del crecimiento urbano de la ciudad de Popayán entre los años 1989, 2002 y 2014.
- Determinar la tasa de expansión urbana del municipio de Popayán, respecto a la cobertura de construcciones o edificaciones durante el periodo comprendido entre los años 1989-2014, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La Ley 388 de 1997, sometió al país entero en un proceso de reordenamiento, en cada ciudad, municipio y calle en el plazo de veinte años. Desde ese momento se vienen ejecutando Planes de Desarrollo, Ordenamiento y Maestros, a nivel nacional en la búsqueda concertada del ordenamiento del territorio.

Frente a esta dinámica se plantean modificaciones y transformaciones en el territorio que no siempre son armónicas a las realidades poblacionales, generando impactos que atentan contra la sostenibilidad del desarrollo.

El análisis de la expansión urbana del municipio de Popayán Cauca, permite evaluar la tasa de crecimiento ordenado o desordenado de los límites urbanos de la ciudad, que con el control ejercido bajo la implementación del plan de ordenamiento territorial de Popayán ha protegido a grandes cantidades de áreas con cobertura vegetal y tierras de cultivo en toda el área metropolitana que además de generar un ambiente sano, son despensa de las necesidades alimenticias de sus habitantes. Esta información permite crear políticas públicas tendientes a mejorar la calidad de vida de las personas bajo la dirección de la administración municipal, que con información estadística nacional que provee el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), entidad que en la actualidad es responsable de la planeación, levantamiento, procesamiento, análisis y difusión de las estadísticas oficiales de Colombia permiten conseguir el objetivo propuesto para este proyecto.

En Popayán, se lograron identificar factores influyentes en el crecimiento a partir del análisis de aspectos primordiales del comportamiento expansivo como son: construcciones, la red hídrica e infraestructura vial. Respecto a la red vial hay que mencionar que una de las vías por la cual se empezó a generar el desarrollo urbano de la ciudad de Popayán es la Vía Panamericana la cual atraviesa la ciudad de sur a norte, situación que motivó a realizar el proyecto de la Variante que conecta el sur del País con el resto de Colombia; vía que tiene gran movilidad por la dinámica comercial hacia otras regiones de Suramérica, además de otras vías del municipio que han motivado a la expansión mediante proyectos de urbanizaciones de tipo particular y privado.

Es de vital importancia conocer los cambios en los patrones urbano regionales de Popayán, por su importancia histórica; en el 2005, la Unesco designó a la ciudad de Popayán como la primera ciudad de la gastronomía por su variedad y significado para el patrimonio intangible de los colombianos. La cocina caucana fue seleccionada por mantener sus métodos tradicionales de preparación a través de la tradición oral. El 28 de septiembre de 2009 las Procesiones de Semana Santa de Popayán fueron declaradas por la UNESCO como Obra

Maestra del Patrimonio Oral e Inmaterial de la Humanidad, por estas razones este análisis del crecimiento urbano es una herramienta fundamental para la correcta toma de decisiones del crecimiento urbano presente en los 15 años analizados.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 CRECIMIENTO URBANO

El estudio del crecimiento urbano encuentra cada día nuevos retos debido a los impactos ambientales, sociales, económicos y culturales que comprenden los procesos de urbanización. En las últimas décadas, se han producido cambios importantes en los patrones de crecimiento de la población del planeta. Según datos de Naciones Unidas (UNFPA, 2007), se viene asistiendo a un proceso de urbanización global y acelerado. En América Latina y el Caribe, se prevé que la población aumentará desde 394 millones hasta 609 millones de habitantes entre los años 2000 y 2030.

Los factores que se atribuyen al crecimiento urbano son variados, hasta ahora se destacan autores como Wallner (1975), quien dice que el aumento demográfico de la ciudad se debe a las migraciones, al abandono precipitado e indiscriminado del campo, a la incorporación de municipios limítrofes, o la erección de las ciudades satélites que se hallan vinculadas funcionalmente a las grandes ciudades. Otros autores como Haig (1927); Clark (1947); y Hoyt (2005) afirman que las vías se convierten en factores importantes de crecimiento urbano, y Parrado (2001) dice que un factor importante de crecimiento urbano es el surgimiento de nuevas zonas residenciales, comercios, equipamientos y servicios.

Particularmente para la ciudad de Popayán, el conflicto interno armado que se ha presentado en nuestro país durante varias décadas, ha sido uno de los factores que genera desplazamiento hacia los grandes centros urbanos, también atraídos por las oportunidades que brindan las ciudades con algún grado de industrialización, como una oportunidad de empleo en el modelo capitalista.

**4.1.1 Estructura Territorial Urbana.** La ciudad de Popayán se caracteriza por su emplazamiento limitado por los cerros tutelares de oriente y sur occidente, donde creció a partir de la ciudad colonial hoy convertida en el Centro urbano histórico patrimonial, bordeada inicialmente por los ríos Molino y Ejido, los que actuaron como límites reguladores del crecimiento de la ciudad y en la actualidad, al igual que todos los ríos que la atraviesan, presentan graves problemas por contaminación. Este centro se consolidó como el principal nodo urbano, el cual posee una morfología regular que se lee en los barrios de la ciudad tradicional; tanto esta morfología de retícula en damero, como la implantación sobre la meseta original del valle de Pubenza, conforman una zona homogénea claramente diferenciable de las otras zonas tales como las colinas del sur oriente, la primera zona norte paralela a la Avenida Panamericana y la zona norte actual de Bello Horizonte. El Centro urbano sufrió un proceso acelerado de cambio de uso del

suelo posterior al terremoto de 1983, en el cual el comercio, las instituciones y los servicios desplazaron a la vivienda, razón por la cual en el momento se presenta una gran congestión vehicular, insuficiencia de estacionamientos e invasión de andenes y vías por parte de vendedores estacionarios, lo que tiende a deteriorar la calidad urbana y cívica del centro, localizada sobre la meseta que ampliamente se detecta como desarticulada de la ciudad inicial.

**Ilustración 4. Fotografía aérea 19 de Abril de 1983 (Un mes después del Terremoto)**



Fuente: IGAC

El crecimiento urbano se generó por la tensión norte – sur que ocasiona la avenida

Panamericana y la tensión hacia el occidente protagonizada por la calle quinta. Aunque existen otras vías de jerarquía secundaria, no se tiene un sistema vial conforme con la evolución de las exigencias de la movilidad urbana, generando reducción de la movilidad.

La aparición de áreas alejadas de la ciudad consolidada, trajo la desarticulación urbana, en el norte con el desarrollo de Bellohorizonte y en el sur con las urbanizaciones de la cuenca de la quebrada Pubús y Lomas de Granada. Esta situación se agudiza por la conservación de grandes áreas sin consolidar, en especial en el área norte, ocasionando mayores costos y derroche de los servicios públicos.

Dentro del casco urbano se tienen puntos con conflicto de uso, que se han convertido en focos de deterioro urbano ya sea por su impacto social como por el efecto físico y funcional urbano. Esta situación se evidencia en La galería de la Esmeralda, La galería del Barrio Bolívar, la galería del barrio Alfonso López, El centro Comercial Anarkos, El sector del Empedrado con uso de bodegas, El área de la Central de Sacrificio y la Plaza de Ferias. En el área rural inmediata se encuentra el vertedero de basuras que es el escenario con mayor deterioro ambiental del municipio. Además, se tienen áreas que fueron toma de invasiones de vivienda, algunas de ellas ubicadas en lugares de riesgo.

Las corrientes hídricas, en general no han sido incorporadas a los urbanismos, siempre se les ha dado la espalda, por lo cual sus ofertas ambientales y paisajísticas están a la espera de su aprovechamiento. Los humedales en su mayoría han sido desecados y urbanizados y los pocos que subsisten han caído en el abandono y reciben desperdicios y escombros, y con ello el desprecio por parte de la comunidad. (Popayán, 2013)

**4.1.2 Proceso de Urbanización de la Ciudad.** El proceso de expansión de la Ciudad de Popayán presenta diversas etapas caracterizadas por crecimientos poblacionales y urbanísticos diferenciales. Un análisis de la evolución de la población y de la malla urbana, permiten establecer varios períodos cuyas principales características se presentan en la Tabla No. 1 (Popayán, 2013)

**Tabla 1 Crecimiento de la ciudad de Popayán en diferentes periodos.**

AÑO	ÁREA URBANIZADA (m <sup>2</sup> )	HABITANTES (Hab)	DENSIDAD (Hab / ha)	% CRECIMIENTO URBANIZACIÓN	% CRECIMIENTO POBLACIÓN
1908	972.395	15.646	161	Nd	Nd
1946	1.842.899	25.740	140	1.60	1.24
1958	2.431.734	44.197	182	2.31	4.51
1974	6.295.489	80.400	128	5.95	3.74
1983	8.596.066	105.977	123	3.46	3.07
1985	Nd	147.138	Nd	Nd	Nd
1994	11.520.969	192.560	167	2.66	5.43
1999	13.281.18	203.051	153	2.84	1.06

Fuente: POT, Popayán, 2013.

**4.1.3 Clasificación del Suelo.** De acuerdo con lo establecido por la Ley 388 de 1987, los suelos del territorio municipal se clasifican en: Suelo urbano, suelo de expansión, suelo rural y suelo suburbano.

#### 4.1.3.1 Suelo urbano.

De acuerdo al Decreto 228 del 1994, el perímetro comprende 2.821 hectáreas distribuidas en área residencial 1.700 Ha, área de parcelación 703 Ha, área de actividad múltiple del sector centro 439 Ha, área de actividad múltiple sector centro y complementarias del sector histórico 285 Ha, área de actividad múltiple del sector 792 Ha, área de actividad múltiple del barrio Bolívar 172 Ha, área de actividad industrial mixta 16 Ha, zona de actividad institucional 210 Ha, zona de servicio municipal 65 Ha y área de protección 448Ha. (Popayán, 2013)

#### 4.1.3.2 Suelo de Expansión.

Dentro de la actual clasificación del suelo no existen los suelos de expansión. (Popayán, 2013)

#### 4.1.3.3 Suelo Rural.

De acuerdo a información suministrada por el Plan de Ordenamiento Territorial de Popayán nos muestra que este tipo de suelo representa el 95% del área total del municipio que es de 51.200 Hectáreas y está constituido por el suelo que no forma parte del área urbana y suburbana, dentro del cual se emplazan asentamientos humanos dispersos o caseríos que actúan como focos de servicios comerciales institucionales de salud, educación, recreación y de transporte. (Popayán, 2013), clasificación que no será objeto de este análisis.

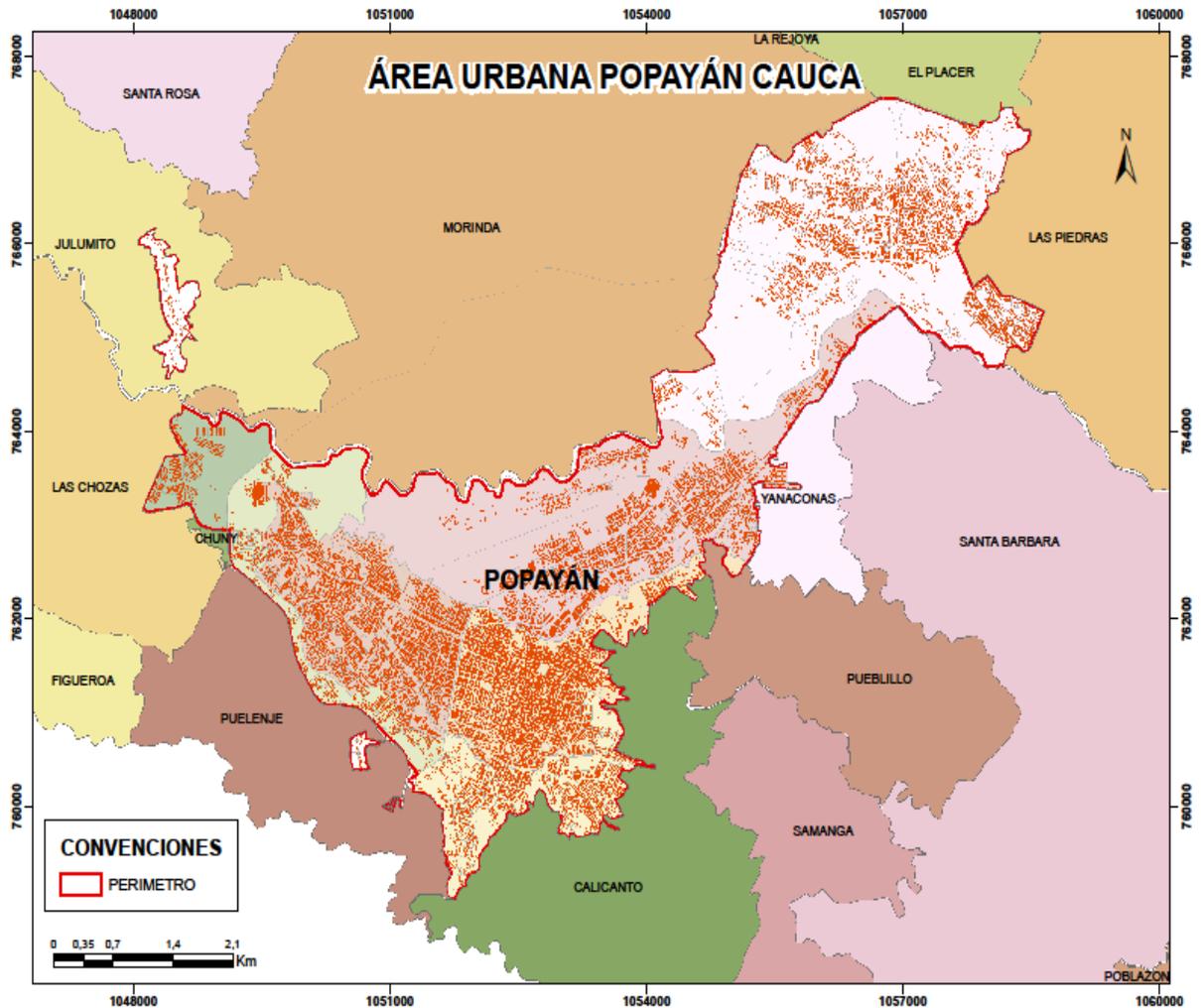
#### 4.1.3.4 Suelo Suburbano.

En la actualidad existe un área de transición entre el área rural y el área urbana, que se calcula es superior a la extensión de esta última y aunque no cuenta con los servicios públicos, está siendo desarrollada con iguales características de construcción el área urbana, fenómeno que trae como consecuencia la existencia de grandes zonas sin desarrollar que quedan como enclaves entre la ciudad consolidada y la zona rural, la creación de zonas dispersas y desarticuladas de la estructura urbana, desaprovechan los servicios públicos y generan altos costos de urbanización y operación de la ciudad.

Al analizar las actuales condiciones del suelo en el municipio de Popayán, surgen dos factores generadores de toda la problemática: El primero está relacionado con la debilidad de los procesos de planificación del desarrollo, los cuales no han diseñado políticas claras que orienten el crecimiento físico de Popayán en armonía con el entorno tanto físico natural como natural y en segundo lugar la permisividad en la asignación de usos del suelo por parte de las entidades encargadas de ello.

Todo lo anterior además de contribuir al proceso de deterioro permanente de las condiciones de vida de la población ubicada en las áreas de influencia de las zonas de conflicto antes mencionadas, no ha permitido que se logren condiciones de eficiencia económica y social, especialmente para la ciudad. (Popayán, 2013); Clasificación que no será objeto de este análisis.

**Ilustración 5. Límite del Suelo Rural respecto a la zona urbana Municipio de Popayán.**



Fuente: Los Autores

## 4.2 IMPACTOS AMBIENTALES

Se entiende por impacto ambiental cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización (ICONTEC, 2004)

Las ciudades desempeñan un papel central en el proceso de desarrollo. Son, en general, lugares productivos que hacen un aporte importante al crecimiento económico de la nación. Sin embargo, el proceso de crecimiento urbano acarrea a menudo un deterioro de las condiciones ambientales circundantes. Como lugar de crecimiento demográfico, actividad comercial e industrial, las ciudades concentran el uso de energía y recursos y la generación de desperdicios al punto en que los sistemas tanto artificiales como naturales se sobrecargan y las capacidades para manejarlos se ven abrumadas. Esta situación es empeorada por el rápido crecimiento demográfico de los centros urbanos.

Los daños o costos ambientales resultantes ponen en peligro la futura productividad de las ciudades y la salud y calidad de vida de sus ciudadanos. Las ciudades se han vuelto las principales zonas rojas ambientales que requieren urgentemente de atención especial en las evaluaciones ambientales regionales y de proyecto y en la planificación y administración ambiental a escala regional metropolitana.

Los sistemas y servicios urbanos (p.ej. agua potable, saneamiento, transporte público y caminos) se congestionan cada vez más debido al crecimiento demográfico, comercial e industrial, junto con una mala administración urbana. Los recursos naturales (agua, aire, bosques, minerales, tierra), vitales para el desarrollo económico de las ciudades y de futuras generaciones, se pierden o malgastan mediante políticas urbanas inapropiadas. Aumenta constantemente el radio de impacto de las ciudades sobre los recursos que se hallan lejos de sus fronteras. Es más, las áreas urbanas se encuentran inundadas por sus propios desechos y asfixiadas por sus propias emisiones como resultado de políticas y prácticas inadecuadas de control de la contaminación y manejo de los desechos.

Muchos impactos negativos se asocian con las condiciones antes descritas. Los mayores riesgos de salud en muchas ciudades de los países en desarrollo, aún se encuentran ligados al tradicional problema de la eliminación de la excreta. Al mismo tiempo, existe una creciente preocupación en torno a los riesgos que para la salud representa la modernización debido a los desechos y emisiones tóxicas, traumas (accidentes de tránsito y otros, muertes violentas), y el stress urbano. La escala espacial de estos impactos va desde el hogar hasta la comunidad entera, el área urbana y en algunos casos, las regiones más allá. Los impactos de mayor preocupación aún se encuentran a menudo a escala doméstica y comunitaria, y se relacionan con las deficiencias de infraestructura y servicios urbanos. Los habitantes de los centros urbanos, particularmente los pobres, soportan la mayoría

de las condiciones del ambiente deteriorado mediante la pérdida de salud y productividad y la disminución de la calidad de vida. Se elevan los costos de la explotación de los recursos (p.ej. el costo de nuevas fuentes de agua potable) a medida que se acaban los recursos económicamente asequibles y de alta calidad. Las emisiones relacionadas con los problemas ambientales regionales y globales, se generan cada vez en las áreas urbanas o como resultado de la demanda urbana (por ejemplo, la urbanización en sí podría ser un factor principal en la demanda mundial de energía durante la próxima generación).

Dentro de un contexto más específico el municipio de Popayán por su ubicación geográfica se encuentra en una zona de alta actividad sísmica, volcánica; si a esto se suma la acción de agentes antrópicos, biológicos, lo convierte en un municipio propenso a la erosión, deslizamientos, crecientes torrenciales, incendios y otros fenómenos. Si a la ocurrencia de fenómenos naturales y/o antrópicos le sumamos la alta vulnerabilidad que presentan los asentamientos humanos, debidos a un crecimiento desordenado de la ciudad y poblaciones cercanas y a las técnicas inadecuadas de construcción utilizada en los mismos, tenemos un municipio con alta propensión a sufrir las consecuencias por los desastres naturales.

Al efectuar un diagnóstico para la zona urbana del municipio se puede afirmar que el escenario de amenazas está fuertemente influenciado por fenómenos como las inundaciones periódicas de los ríos Molino, Ejido y Cauca y la Quebrada Pubús, y las quebradas menores como: Chamizal, La Primavera, Molanga, Garrochal, Quitacalzón, Los Sauces, Tinajas, La Cantera, Los Monjes, etc., que vierten sus aguas a los cauces principales. También se presentan deslizamientos activos y áreas inestables asociadas con las rocas aflorantes, las pendientes fuertes y acción antrópica negativa. Alta sismicidad histórica y reciente.

Como principales impactos ambientales en la ciudad de Popayán se establecen:

- El uso inadecuado del suelo para la proyección de viviendas en el Municipio de Popayán ha generado un grave problema, como es, la intervención de colinas con poco manejo ambiental.
- Aguas de escorrentía que se concentran en un terreno inestable. Escarpe que presenta deslizamientos por la gran erosión y saturación del suelo por aguas de escorrentía.
- Los problemas de inestabilidad del carretable que se desprende de la vía Barrio Plateado, Samanga, Poblazón hacia Río Negro, están relacionados con la tala indiscriminada de roble y manejos inadecuados de las aguas servidas, de las aguas lluvias y de los nacimientos de la quebrada Tejares.
- Intervención de los cerros para la adecuación del terreno en obras de urbanismo para las parcelaciones que se han proyectado en el sector.

- Ubicación de viviendas sobre depósitos de roca volcánicas falladas con taludes de altura considerable. Existen vías que carecen de obras de drenaje lo que contribuye a erosionar el terreno en forma acelerada.
- Las crecientes del río Ejido, producen el socavamiento de la margen derecha de éste. La irresponsabilidad de los moradores de este sector ha generado un problema de salubridad e inestabilidad, ya que las aguas servidas y residuos sólidos son arrojados al río así como escombros, incidiendo sobre el cauce natural del río, afectando el talud.
- Deforestación de cuencas por asentamientos urbanos no legalizados, deficiente manejo de aguas residuales, de escorrentía y manejo de residuos sólidos.
- Contaminación de las fuentes hídricas que atraviesan el municipio.

### **4.3 PELIGROS Y RIESGOS**

Un peligro natural puede ser definido como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural, dentro de un período de tiempo específico en un área dada, de un fenómeno natural con un potencial de daño. (Varnes, 1984). Este fenómeno puede ser terremotos, deslizamientos, inundaciones, sequías, tormentas, etc. Todos estos ocurren con diferentes intensidades y frecuencias, produciendo diferentes niveles de impactos ambientales.

En la área de Popayán los siguientes peligros naturales están presentes:

- Inundaciones: Una inundación ocurre siempre y cuando la escorrentía exceda la capacidad de descarga del río, causando un flujo de agua y lodo sobre los bancos del río, y se extiende por encima de los planos de inundación. Los factores que son importantes: clima, (lluvia), cambio en el uso de suelo, actividades sísmicas. Zonas de inundación de los riachuelos: la socavación (erosión lateral) de los bancos de los ríos, y subsecuentes deslizamientos en los terrenos altos, causa inundaciones en las partes bajas. Esto se aplica a los caños (riachuelos) donde la variable de ocurrencia e intensidad del peligro son experimentadas.
- Deslizamientos: Son movimientos en descenso de rocas, suelo, lodo o mezclas de estos materiales. Algunos deslizamientos ocurren gradualmente, otros abruptamente. Factores importantes son: clima (lluvia), topografía (pendiente), tipo de roca (estructura, material), tipo de suelo (contenido de agua), actividades tectónicas (terremoto), uso de suelo (deforestación).
- Hundimiento: El hundimiento repentino o gradual asentado hacia abajo de la superficie de la tierra ocurre con pequeño o sin movimiento horizontal. Suelos con materiales sin coherencia con un contenido alto de agua, son muy susceptible a licuefacción, o soliflujión cuando una distribución externa ocurre (terremoto, deslizamiento convencional).

Un riesgo natural puede ser definido como la vulnerabilidad de un área en términos de víctimas mortales esperados, heridos, daños a propiedades e interrupción de actividades económicas debido a los daños potenciales de un fenómeno natural. En otras palabras, un peligro natural, será un riesgo natural cuando la población y las propiedades pueden ser afectadas. Por eso cuando las ciudades están construidas en zonas peligrosas, la zona no es solamente considerada peligrosa, sino también arriesgada. El nivel del riesgo potencial afectando la ciudad no es el mismo en toda la ciudad, porque tanto el tipo de peligro como el uso de suelo (áreas con y sin construcciones) varía en la ciudad (Hofstee & Brusse, 1999)

El municipio de Popayán, de acuerdo a su situación geográfica, se localiza en una zona tectónicamente activa, propensa a sufrir el efecto de los fenómenos naturales y antrópicos que la amenazan como son: sismos, erupciones volcánicas, inundaciones, vendavales, granizadas, incendios forestales entre otros; cuenta con antecedentes desastrosos como los de la inundación provocada por el desbordamiento del río Molino en el año 1938, que arrojó un saldo de 2 víctimas fatales, Inundaciones periódicas anuales sobre los lechos de inundación de los ríos Molino (1991,1999,2000) y Ejido(1993,1999) y Quebrada Pubús que han provocado cuantiosas pérdidas materiales.

A lo largo de su historia Popayán ha sido afectada por sismos destructores, se tienen registros desde 1566, 1736, 1817, 1946 y el último el 31 de marzo de 1983 que afectó el área urbana de la Ciudad y sus vecindades, ocasionando la muerte de por lo menos trescientas personas, causó heridas graves a más de mil y originó daños materiales con costos superiores a los cuatrocientos millones de dólares. Popayán fue la primera ciudad importante en ser afectada por un sismo, por lo que despertó un interés científico nacional y se realizó el primer estudio de Microzonificación Sismogeotécnico del País, razón por la cual es de vital importancia reconocer el avance de la estructura urbana que afecta los ecosistemas presentes en la ciudad de Popayán.

#### **4.4 TELEDETECCIÓN E IMÁGENES LANDSAT.**

La Teledetección es empleada como complemento a estudios orientados al medio ambiente en las distintas áreas de la ciencia: oceanografía, recursos pesqueros, estudios costeros, contaminación, hidrogeología, geología, estimación de cosechas, control de plagas, producción agrícola, usos del suelo, planificación urbana, entre otros. (Fernández - Coppel & Herrero Llorente, 2001)

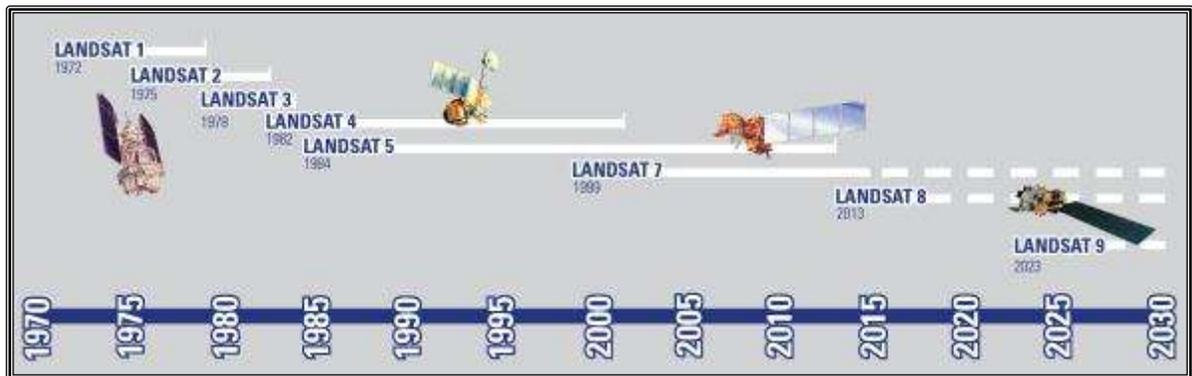
Para que esta observación sea posible es necesario que, aunque sin contacto material, exista algún tipo de interacción entre los objetos y el sensor. En este caso la interacción va a ser un flujo de radiación que parte de los objetos y se dirige hacia el sensor. Este flujo puede ser, en cuanto a su origen, de tres tipos:

- Radiación solar reflejada por los objetos( luz visible e infrarrojo reflejado)
- Radiación terrestre emitida por los objetos (infrarrojo térmico)
- Radiación emitida por el sensor y reflejada por los objetos (radar)

Las técnicas basadas en los dos primeros tipos se conocen como teledetección pasiva y la última como teledetección activa. (Murcia)

Los buenos resultados obtenidos en el estudio de los recursos naturales terrestres, con las imágenes de los primeros satélites meteorológicos y las misiones espaciales tripuladas, condujeron a la NASA y al Departamento de Interior de los Estados Unidos en 1967, a desarrollar el Programa de Observación ERTS (Earth Resources Technology Satellites), conocido comúnmente como LANDSAT. Este proyecto ha resultado ser el más fructífero hasta el momento para aplicaciones no militares. (Marbelo).

## Ilustración 6. Cronología Landsat



Fuente: [http://landsat.usgs.gov/about\\_mission\\_history.php](http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php)

## 4.5 ANTECEDENTES

**4.5.1 Plan de Ordenamiento Territorial, Popayán.** El ordenamiento del territorio, se expresa de un lado como una parte de la división político – administrativa contemplada en la Constitución de 1991 y las Leyes; y por otra, como la posibilidad de interpretar los recursos naturales y construidos como resultante de la acción humana y de la naturaleza. Estas dos dimensiones desde su interdependencia se constituyen en el espacio de conjunción donde desde la estructura político – administrativa: territorio: municipio o departamento, se perciben las posibilidades de crecer, desarrollarse y competir en esquemas sostenibles del desarrollo. (Popayán, 2013). En este documento se realiza el diagnóstico del área urbana y rural de la Ciudad de Popayán, identificando sus debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas actuales; también planea y programa el ordenamiento del territorio considerando sus recursos naturales en la búsqueda del desarrollo sostenible de la región.

**4.5.2 Análisis multitemporal de la expansión urbanística del municipio de la calera, cundinamarca, colombia.** En este estudio se presenta de manera concisa y muy gráfica, el análisis de la expansión teniendo en cuenta imágenes de los años 1995 y 2014; determina la efectividad del cumplimiento normativo del POT del municipio en estudio.

**4.5.3 Estudio sobre la expansión urbana de la Ciudad de Montería, utilizando imágenes de satélite de los años 1991 y 2001.** Se establece por parte de los autores la importancia del uso de las imágenes satelitales en los estudios de expansión urbana ya que ofrecen una realidad en un tiempo determinado, dando confianza al estudio.

**4.5.4 Estudio del crecimiento urbano de la Ciudad de Valdivia (Chile) a través del uso integrado de imágenes de satélite, SIG, y equipos GPS.** El proyecto demuestra la potencialidad de las diferentes imágenes procedentes de diversos sensores remotos y tecnología GPS en estudios de crecimiento urbano. (Herrera, 2001)

**4.5.5 Análisis del Crecimiento urbano: Una aproximación al estudio de los factores de crecimiento de la Ciudad de Manizales como aporte a la Planificación.**

El objetivo de la investigación consiste en estudiar el crecimiento urbano de la ciudad de Manizales, Colombia, e identificar los factores que han contribuido al mismo, desde el año 1854 hasta el año 2003. Metodológicamente, la propuesta tiene como característica la asociación del componente espacial al análisis. Se utilizan mapas en SIG con información asociada, lo que permite la generación de datos que pueden aprovecharse con métodos de cálculo adecuados, para obtener respuestas numéricas, las cuales pueden ser traducidas a mapas nuevamente. Se utilizó el método de Análisis de Componentes Principales ACP para destacar los factores más influyentes en el proceso de urbanización en cada periodo, el cual además de ayudar a identificar dichos factores, demostró que los patrones de urbanización estimados se corresponden de una manera aproximada con los patrones de urbanización reales. (Cifuentes Ruiz & Londoño Linares, 2010)

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 TIPO DE TRABAJO

Siendo el objetivo hacer un análisis espacio – temporal de la transformación del territorio en los últimos 25 años (periodo de estudio), que metodológicamente se centra en el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica y del programa ERDAS 9.2, que permitirá observar y determinar la dinámica de crecimiento urbano en la ciudad de Popayán entre los años 1989 al 2014.

Además de establecer la caracterización espacial y temporal de la expansión urbana mediante actividades de análisis de fotografías aéreas, cartografía análoga y digital detallada en el ítem 5.1.1, existentes para la zona de estudio.

**5.1.1 Información Disponible y Material a Utilizar.** Para realizar el análisis multitemporal de la expansión urbana de la ciudad de Popayán se realizó la consecución del siguiente material:

- Cartografía digital de imágenes tipo LANDSAT descargadas en la página USGS y GLCF correspondientes a los años 1976, 1984, 1989, 1991, 2002, 2008, y 2014  
Año 1976: 3 Bandas.  
1989- 08- 07: Landsat LANDSAT 4; 7 bandas Pixel size X: 28.50 Pixel size Y: 28.50 Unit: meters  
1991: Octubre 24 Landsat 5, 7 Bandas  
2001: 08-24; 7 Bandas  
2002: Septiembre de 12, Landsat 7, 9 Bandas, Pixel size X: 15.00 Pixel size Y: 15.00 Unit: meters  
2014: 23-02; Landsat 8, 11 Bandas, Pixel size X: 15.00 Pixel size Y: 15.00 Unit: meters  
Además se revisaron imágenes tipo Landsat de los años 1985, 1986 y 1987 Satélite 1-5; Sensor MSS. PATH: 9 ROW: 58 PROYECCIÓN: UTM ZONA 18 DATUM: WGS 84
- Imágenes aéreas de Google Satellite Maps correspondiente a los años 1969, 2007, 2009, 2012, 2014
- Fotografía aérea de IGAC correspondiente al año 1983, un mes después de ocurrido el Terremoto, para hacer revisión y análisis de coberturas existentes para ese año.

De todas las imágenes satelitales descargadas para realizar el análisis se escogieron las de los años 1989, 2002 y 2014, se tuvo en cuenta su resolución radiométrica, la disponibilidad de canales de banda las cuales permitieran hacer la clasificación de las mismas y principalmente que estas imágenes cuentan con un

detalle relativamente bueno para la zona de estudio, por la no presencia de nubosidad en las fechas de su origen, situación que era conveniente a la hora de realizar el análisis respectivo de la zona; hay que aclarar que el otro material cartográfico y digital sirvió como soporte para llevar a cabo el proceso de análisis y resultados.

Al realizar esta verificación de la funcionalidad y características (resolución, visualización) necesarias para el estudio, se estableció que para el objetivo del proyecto se utilizarán las siguientes imágenes:

**Tabla 2. Imágenes Seleccionadas**

SATELITE	SENSOR	ESCENA	FECHA	BANDAS
LANDSAT 4	TM	MULTIESPECTRAL	1989-08-07	7
LANSAT 7	ETM	MULTIESPECTRAL	2002-09-12	9
LANDSAT 8	OLI_TIRS	PANCROMATICA	2014-08-20	11

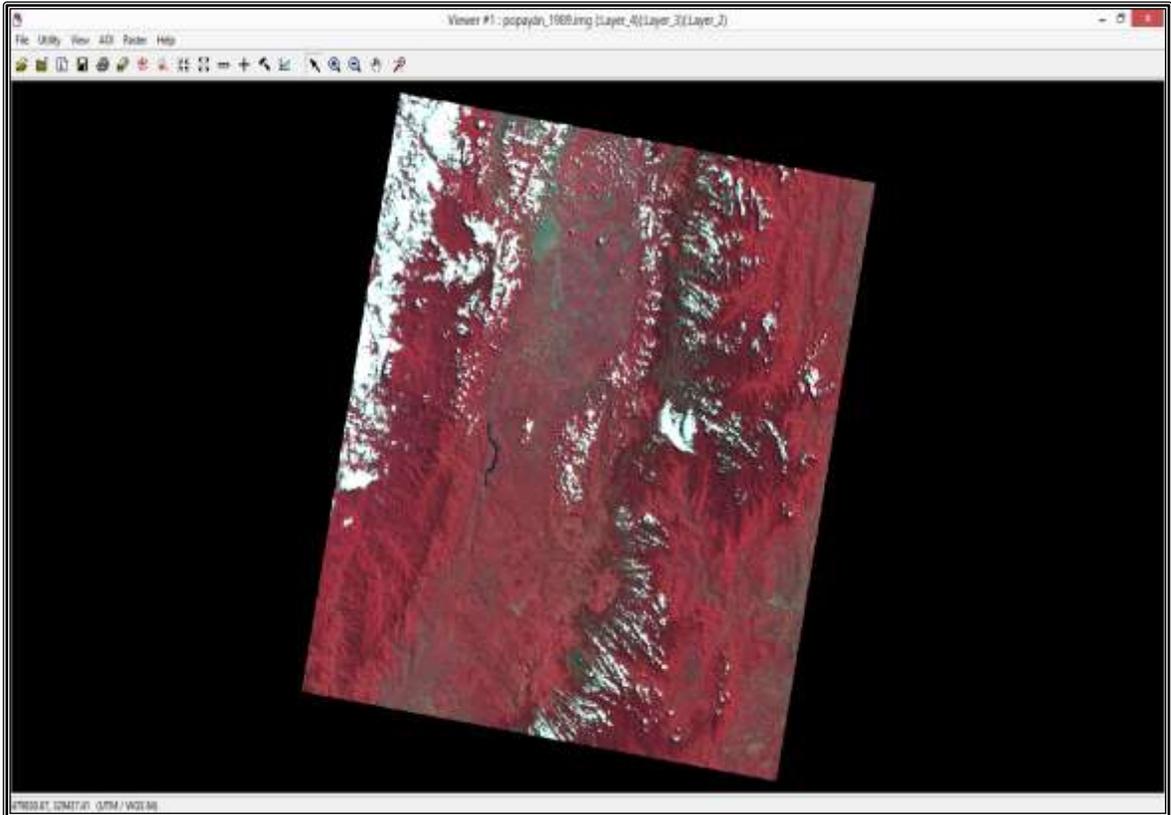
Fuente: Los Autores

## 5.2 PROCEDIMIENTO

La propuesta ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA EXPANSION URBANA DE LA CIUDAD DE POPAYÁN, CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1989- 2014 comprende los siguientes componentes: La caracterización, el análisis espacio temporal y las modificaciones en la cobertura generados por la expansión urbana, los cuales se desarrollaran a través de las actividades que se describen a continuación:

**5.2.1 Fase 1. Recolección y análisis de información secundaria:** consiste en la búsqueda de documentos, artículos, revistas y cartografía que permita enriquecer los conocimientos acerca del tema y área de estudio. Esta información se presenta en el numeral 4.5 Antecedentes. Las imágenes de satélite seleccionadas fueron descargadas en formato Tiff, del portal de internet de la University Of Maryland-Global Land Cover Facility (GLCF) de los años 1989, 2002 y 2014 y se realizó la descarga de cada uno de los metadatos respectivos.

**Ilustración 7. Imagen Satelital Año 1989**



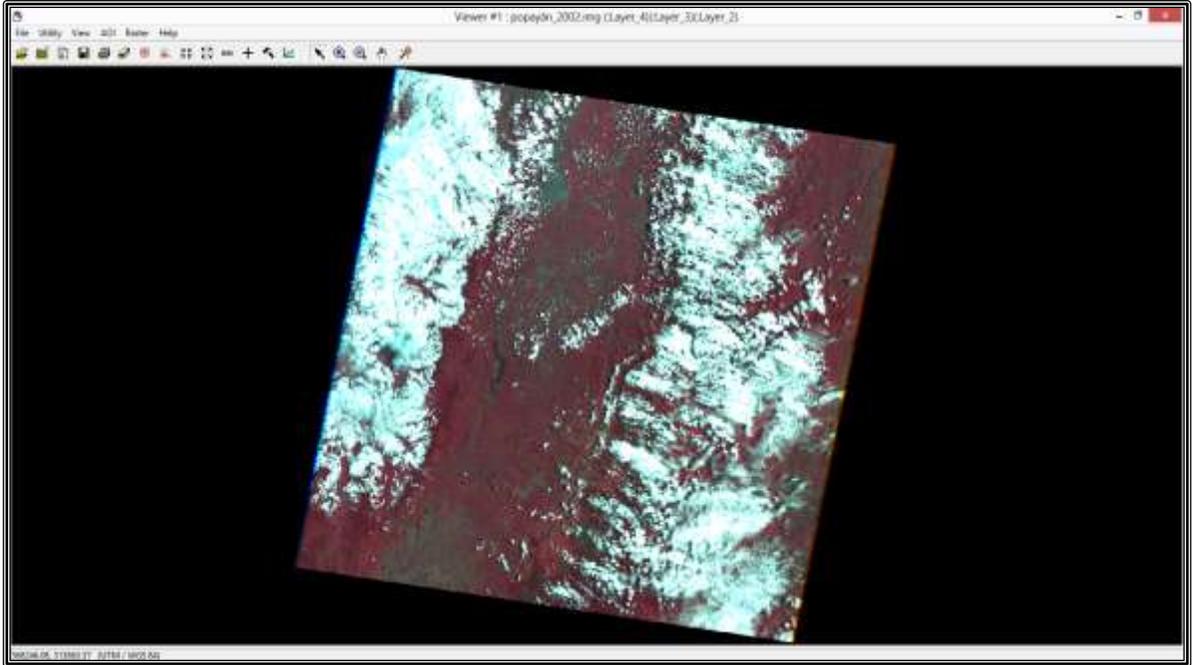
Fuente: GLCF.

**Ilustración 8. Datos de la imagen año 1989**



Fuente: Los Autores

**Ilustración 9. Imagen Satelital Año 2002**



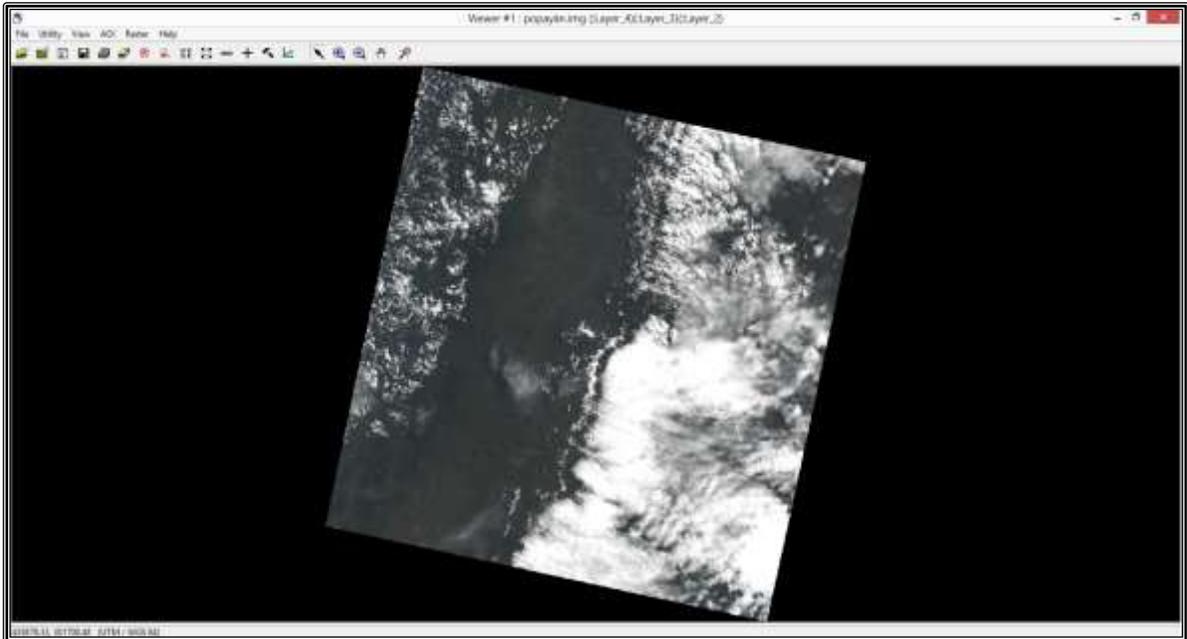
Fuente: GLCF.

**Ilustración 10. Datos de la imagen año 2002**



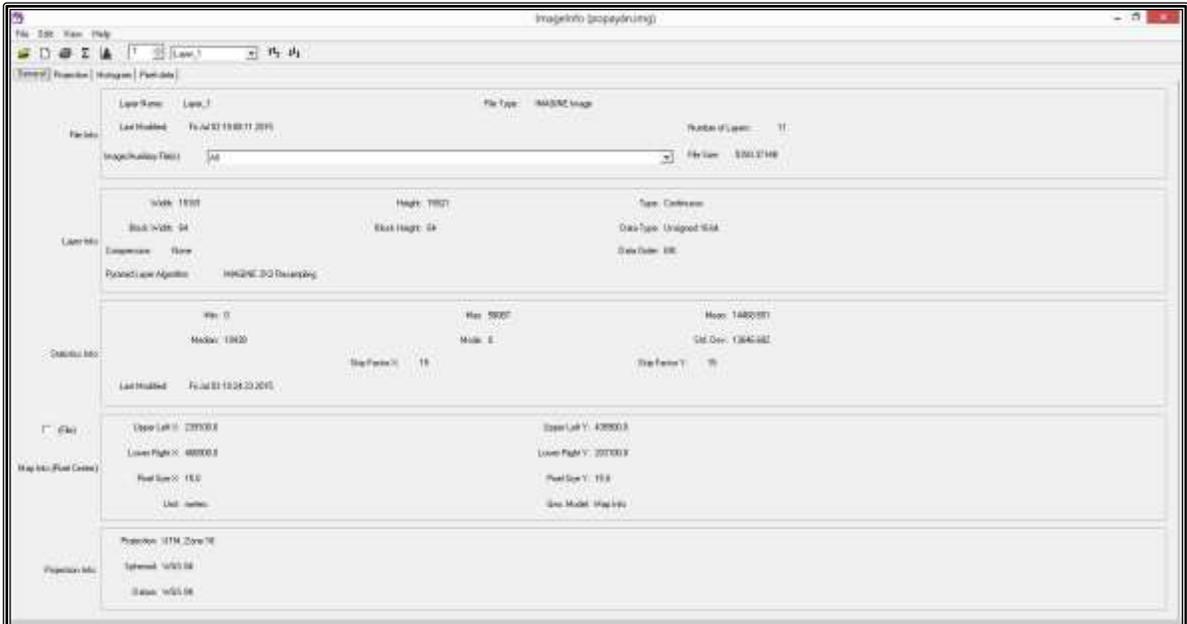
Fuente: Los Autores

Ilustración 11. Imagen Satelital Año 2014



Fuente: GLCF.

Ilustración 12. Datos de la imagen año 2014



Fuente: Los Autores

PROYECCIÓN DE LAS IMÁGENES: **UTM ZONA 18**

DATUM: **WGS 84**

PATH: **9** ROW: **58**

**5.2.2 Fase 2. Tratamiento de la Información.** Las imágenes se analizaron con la intención de definir en cada una de ellas los cambios en la expansión urbana en el área de estudio objeto del proyecto; además se despliega la información definida en cada imagen para observar su mejor combinación entre bandas con el propósito de realizar una adecuada clasificación. Se establecieron para el análisis cuatro coberturas: cobertura vegetal, construcciones, espejos de agua e infraestructura vial.

A cada una de las imágenes se les realizó el siguiente tratamiento

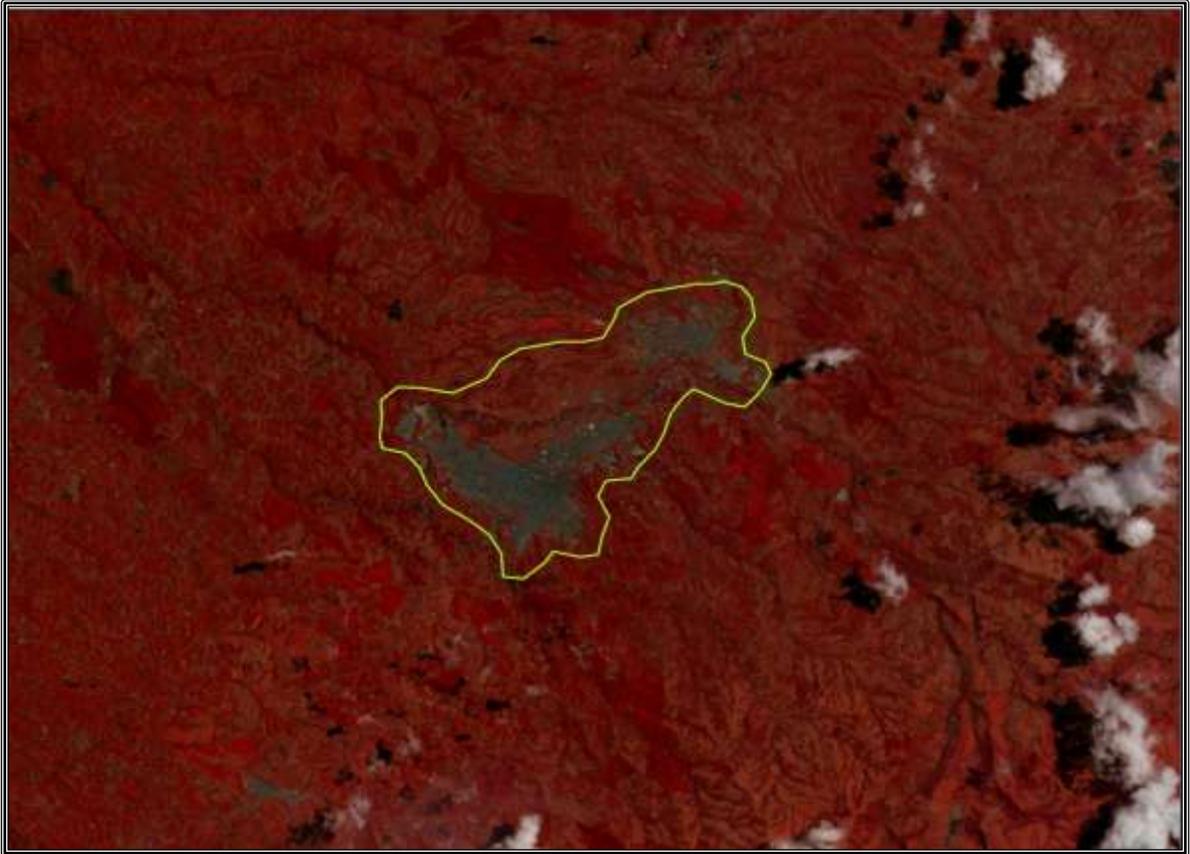
En una primera instancia las imágenes satelitales escogidas se trataron en el software ERDAS 9.2: Se revisa el Metadato de la imagen descargada, visualización del año, proyección y resolución de la imagen descargada; se hace la conversión de las imágenes en cada una de sus bandas del formato TIFF a IMG.

Composición de la imagen, realizando la respectiva unión de imágenes con cada una de las bandas, se pasa de imágenes formato Raster a Foto o imagen.

- Corrección geométrica o georreferenciación. Es decir darle a cada pixel sus coordenadas correspondientes
- Corrección atmosférica. Eliminar en la medida de lo posible las distorsiones que el efecto de la atmósfera introduce en la imagen.
- Se procede a importar las bandas y hacer la conversión de cada banda del formato TIFF a IMG, para posteriormente hacer la composición de la imagen completa (1989, 2002 y 2014).

A continuación se mostrará el proceso efectuado para las imágenes satelitales.

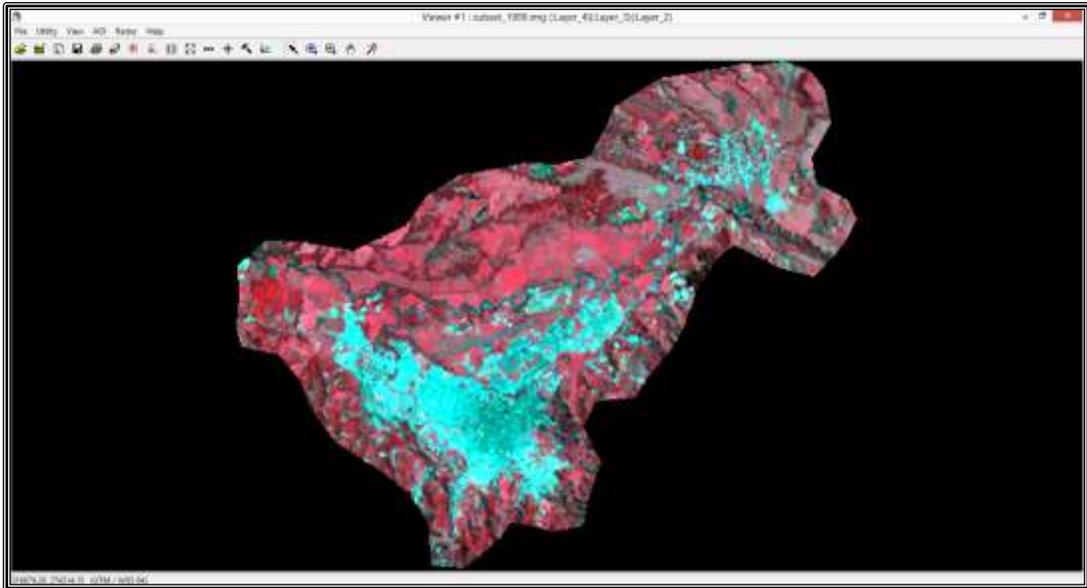
**Ilustración 13. Ubicación área de estudio en Imagen Satelital**



Fuente: Los Autores

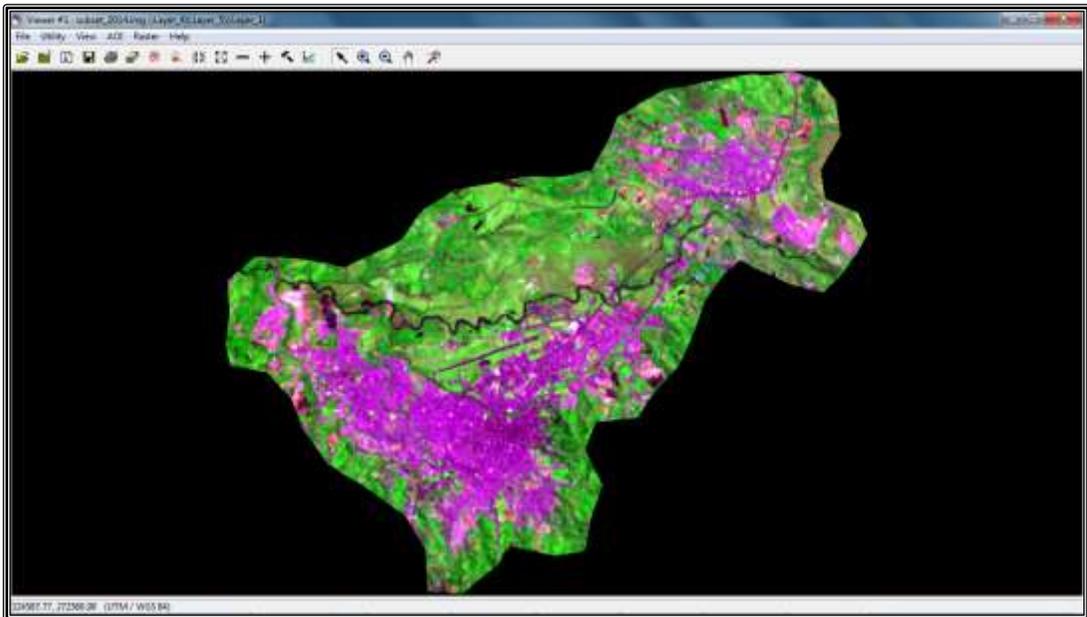
- Teniendo la composición de la imagen satelital se hace el Recorte (SUBSET) para cada año, aquí es importante aclarar que se escogió un área establecida para todos los años de análisis, el área comprende un perímetro urbano definido según el POT del Municipio de Popayán y otro perímetro de expansión (aproximadamente 1 km hacia el nor-oriente, sur-oriente y de alrededor de 2 km en el área de expansión hacia la vía “La Variante” de la ciudad); estos límites fueron definidos por el conocimiento de los autores.

**Ilustración 14. Subset (Recorte) Imagen Satelital año 1989 combinación 4-3-2**



Fuente: Los Autores.

**Ilustración 15. Subset (Recorte) Imagen Satelital año 2014 Combinación 4-5-1**

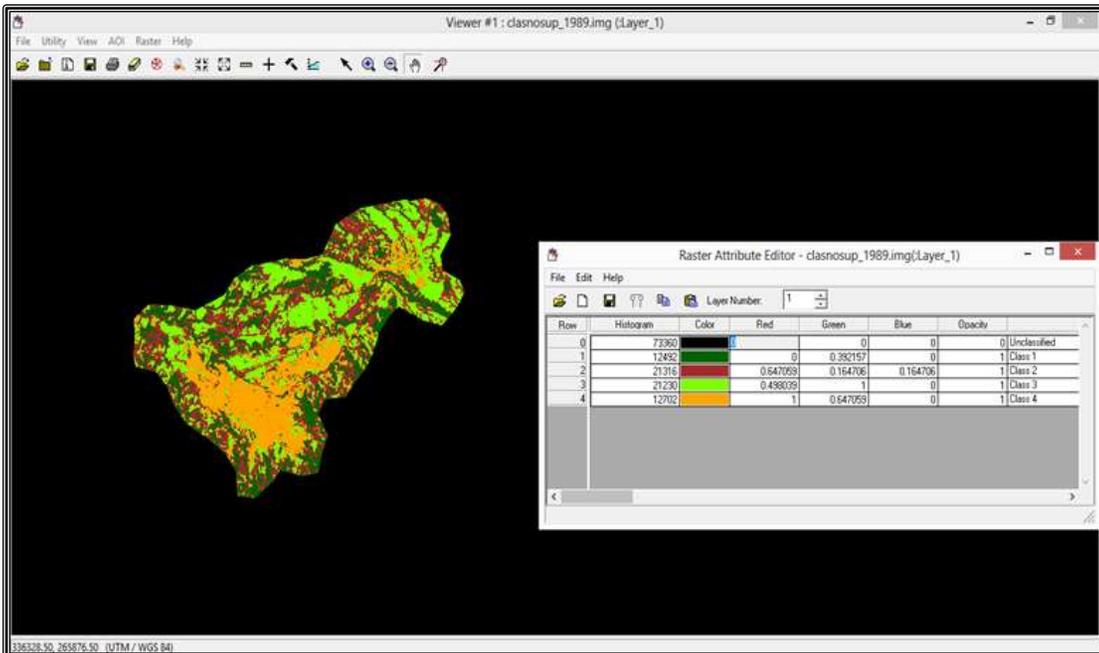


Fuente: Los Autores.

Con las imágenes compuestas, es decir, las de 1989, 2002 y 2014 se procedió a realizar la clasificación No Supervisada pues aquí se tiene en cuenta la escena a

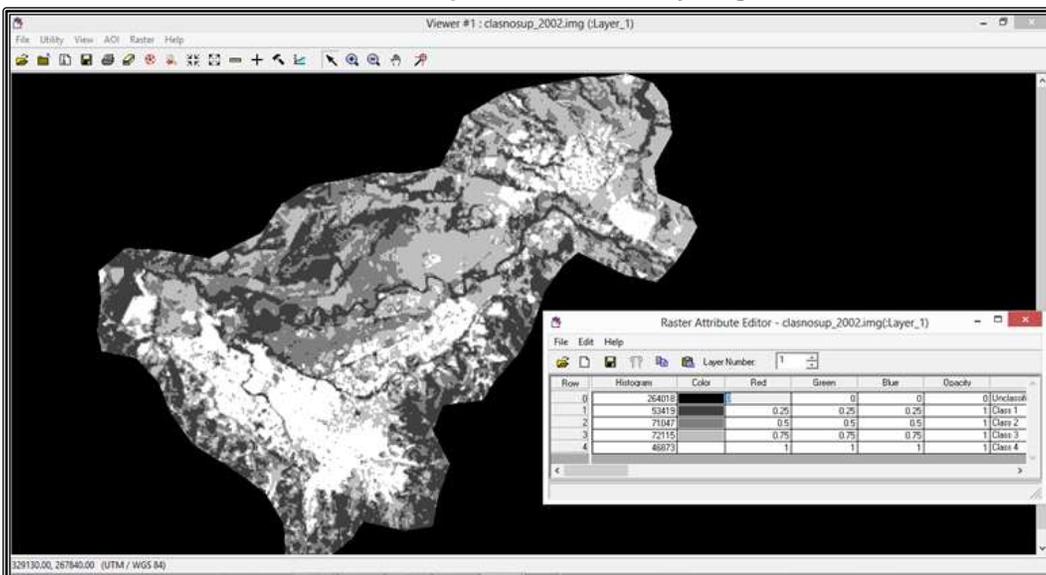
clasificar y los parámetros de números de clases con el fin de conseguir diferenciar unos elementos de otros; para este caso se escogieron cuatro (4) clases en dónde se visualizó claramente algunas coberturas de interés en el proyecto.

**Ilustración 16. Clasificación No Supervisada Color Año 1989**



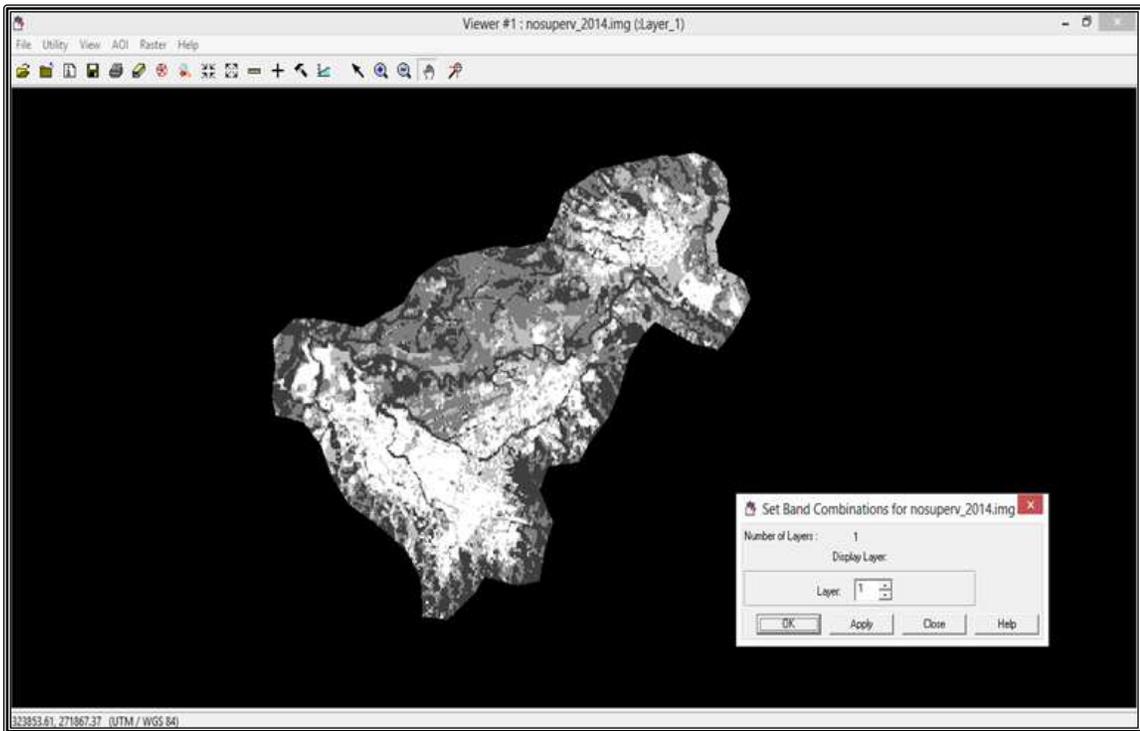
Fuente: Los Autores

**Ilustración 17. Clasificación No Supervisada Blanco y Negro Año 2002**



Fuente: Los Autores

### Ilustración 18. Clasificación No Supervisada Blanco y Negro Año 2014.



Fuente: Los Autores

- Interpretación visual: Con el recorte del área de estudio se realizó la clasificación supervisada con el fin de hacer el análisis multitemporal que permitiera definir y mostrar el crecimiento de las cuatro coberturas: cobertura vegetal, construcciones, espejos de agua e infraestructura vial de la ciudad de Popayán. Posteriormente, se crearon los SIGNATURES para cada imagen de su año respectivo de manera que la clasificación supervisada permitiera diferenciar según el nivel digital las distintas coberturas. Para realizar la clasificación supervisada se seleccionaron áreas representativas de cada cobertura del suelo para obtener el valor espectral, este tipo de clasificación se realizó sobre las coberturas inherentes al objetivo general del área de estudio. En la clasificación supervisada se aplicaron distintos tipos de combinaciones de bandas tomando desde el color verdadero al falso color, que permitieron la identificación de coberturas como la de tipo Urbano, Vegetal, Vías y Ríos, en las imágenes se generalizó en cada una de las coberturas integrando pastos, rastrojos, bosque intermedio en una sola Cobertura: La Vegetal, pues el objetivo primordial como se planteó anteriormente es el de determinar, analizar y visualizar el crecimiento urbano de Popayán expresado en infraestructura construcciones y edificaciones. Si bien se crearon los respectivos signatures en la clasificación supervisada para las los elementos vías, se da el caso en

donde su resolución espectral se mezcla con otras coberturas como la Vegetal y la Urbana; situación que dificulta el procedimiento pues no es fácil la identificación de esas coberturas, para ello se recomienda contar con imágenes satelitales con muy buen detalle de terreno.

Se hace una clasificación por píxeles por números, la imagen satelital al clasificarla se convierte en un mapa. Algunas de las combinaciones seleccionadas que se utilizaron para el muestreo de las coberturas fueron las siguientes combinaciones de banda:

Para el año 1989:

3-4-1 ó Rojo, infrarrojo cercano y azul. Que permite una diferenciación clara de las zonas urbanas en colores violeta o morado.

4-3-2 esta combinación incluye infrarrojo cercano, aquí los límites de agua de la tierra son más claros y diferentes tipos de vegetación son más evidentes.

4-5-3 se distinguen los diferentes tipos de vegetación pueden ser claramente definidos y los cuerpos de agua también son claros.

3-2-1 es una combinación en color natural, color verdadero.

7-5-3 es una combinación que permite ver con algo de claridad las vías.

Para el año 2014:

3-5-1 ó Rojo, infrarrojo cercano y azul. Que permite una diferenciación clara de las zonas urbanas en colores violeta o morado.

5-6-3 esta combinación incluye infrarrojo cercano, aquí los límites de agua de la tierra se ven con mayor definición con un color azul oscuro, se diferencian de la vegetación que toma dos colores, un verde claro para los pastos y un color rojo intenso llegando al café para las áreas boscosas, mientras que las vías toman un color cian claro que es el mismo para la infraestructura urbana aunque más oscuro.

5-5-2 se distinguen los diferentes tipos de vegetación en color amarillo se diferencian claramente la infraestructura urbana y las vías con colores azul intenso y gris respectivamente, los cuerpos de agua con colores azul y negro.

3-2-1 es una combinación en color natural, color verdadero.

- Creación de Signature y Clasificación Supervisada: **EDITOR SIGNATURE:**  
SIGNATURE NAME: a: agua, v: vías, c: coberturas, u: urbano

La clasificación digital implica categorizar una imagen multiespectral en términos estadísticos, esto supone reducir la escala de medida de una variable continua (niveles digitales), a una escala nominal o categórica. La imagen multiespectral se convierte en otra imagen en donde los ND que definen cada píxel no tienen relación con la radiancia detectada, sino se trata de una etiqueta que identifica la categoría o clase temática asignada a

ese píxel (Chuvienco, 1996) Se utilizó la herramienta AOI para la creación de las firmas espectrales. Las herramientas AOI permiten seleccionar áreas en una imagen para ser usadas como firmas. Estas firmas son paramétricas porque ellas tienen información estadística.

**Ilustración 19. Signature Bandas 7 para la Imagen año 1989**

Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A	FS
1	s1		0.000	0.000	0.000	1	1	6	1.000					
2	a2		0.000	0.000	0.007	2	2	5	1.000					
3	a3		0.000	0.000	0.007	3	3	5	1.000					
4	a4		0.000	0.000	0.007	4	4	5	1.000					
5	a5		0.000	0.000	0.007	5	5	5	1.000					
6	b1		0.190	0.024	0.010	7	7	101	1.000					
7	b2		0.274	0.491	0.467	8	8	15	1.000					
8	b3		0.405	0.911	0.708	9	9	9	1.000					
9	b4		0.409	0.712	0.203	10	10	14	1.000					
10	b5		0.505	0.792	0.160	11	11	6	1.000					
11	v1		0.754	0.989	0.927	12	12	40	1.000					
12	v2		0.574	0.474	0.454	13	13	29	1.000					
13	v3		0.690	0.621	0.395	14	14	34	1.000					
14	v4		0.696	0.621	0.600	15	15	25	1.000					
15	v5		0.500	0.412	0.454	16	16	294	1.000					
16	u1		0.420	0.192	0.170	17	17	14	1.000					
17	u2		0.010	0.000	0.174	18	18	14	1.000					
18	u3		0.304	0.420	0.400	19	19	22	1.000					
19	u4		0.010	0.322	0.401	20	20	12	1.000					
20	u5		0.310	0.370	0.470	21	21	15	1.000					
21	u6		0.444	0.370	0.470	22	22	15	1.000					
22	u7		0.192	1.000	1.000	23	23	14	1.000					
23	u8		0.105	1.000	1.000	24	24	13	1.000					
24	u9		0.042	1.000	1.000	25	25	10	1.000					
25	u10		0.160	1.000	1.000	26	26	10	1.000					
26	u11		0.086	1.000	1.000	27	27	10	1.000					
27	u12		0.105	1.000	1.000	28	28	10	1.000					
28	u13		0.120	1.000	1.000	29	29	11	1.000					
29	u14		0.207	1.000	1.000	30	30	21	1.000					
30	u15		0.324	1.000	1.000	31	31	6	1.000					
31	u16		0.124	1.000	1.000	32	32	7	1.000					

Fuente: Los Autores

**Ilustración 20. Signature Bandas 11 para la Imagen año 2014**

Class #	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A	FS
1	a1		0.161	0.188	0.239	1	1	56	1.000	X	X	X	X	
2	a2		0.239	0.209	0.252	2	2	82	1.000	X	X	X	X	
3	a3		0.261	0.242	0.291	3	3	55	1.000	X	X	X	X	
4	a4		0.267	0.226	0.306	4	4	55	1.000	X	X	X	X	
5	a5		0.272	0.247	0.350	5	5	37	1.000	X	X	X	X	
6	b1		0.361	0.406	0.359	7	7	137	1.000	X	X	X	X	
7	b2		0.220	0.246	0.257	6	6	975	1.000	X	X	X	X	
8	b3		0.448	0.422	0.396	8	8	1907	1.000	X	X	X	X	
9	b4		0.561	0.452	0.444	9	9	627	1.000	X	X	X	X	
10	b5		0.224	0.247	0.330	10	10	710	1.000	X	X	X	X	
11	v1		0.316	0.325	0.345	11	11	126	1.000	X	X	X	X	
12	v2		0.447	0.441	0.441	12	12	59	1.000	X	X	X	X	
13	v3		0.432	0.426	0.462	13	13	71	1.000	X	X	X	X	
14	v4		0.600	0.606	0.672	14	14	89	1.000	X	X	X	X	
15	v5		0.450	0.440	0.518	15	15	32	1.000	X	X	X	X	
16	u1		0.932	0.958	0.965	16	16	357	1.000	X	X	X	X	
17	u2		0.678	0.672	0.745	17	17	4597	1.000	X	X	X	X	
18	u3		0.600	0.626	0.693	18	18	361	1.000	X	X	X	X	
19	u4		0.744	0.773	0.836	19	19	1678	1.000	X	X	X	X	
20	u5		0.773	0.806	0.898	20	20	1736	1.000	X	X	X	X	

Fuente: Los Autores

Las firmas espectrales se obtienen después de realizar el proceso de muestreo de la clasificación supervisada, mediante la opción de Signature statistics

**Ilustración 21. Signature Statistics año 1989**

The screenshot shows a window titled 'Statistics (a1)' with two main sections: 'Univariate' and 'Covariance'.

**Univariate Statistics:**

Layer	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.
1	84.000	95.000	88.833	3.601
2	33.000	39.000	35.167	2.401
3	38.000	52.000	44.667	4.844
4	27.000	36.000	29.667	3.204
5	22.000	37.000	29.667	5.465
6	104.000	106.000	104.333	0.816
7	10.000	19.000	14.500	3.146

**Covariance Matrix:**

Layer	1	2	3	4	5	6	7
1	12.967	7.833	16.933	9.133	6.133	-1.933	6.500
2	7.833	5.767	11.067	5.967	6.467	-0.867	6.300
3	16.933	11.067	23.467	11.067	6.667	-2.667	9.600
4	9.133	5.867	11.067	10.267	10.467	-0.267	7.000
5	6.133	6.467	6.667	10.467	29.867	1.733	13.800
6	-1.933	-0.867	-2.667	-0.267	-0.267	1.733	0.200
7	6.500	6.300	9.600	7.000	13.800	0.200	9.900

Fuente: Los Autores

**Ilustración 22. Signature Statistics año 2014**

The screenshot shows a window titled 'Statistics (a1)' with two main sections: 'Univariate' and 'Covariance'.

**Univariate Statistics:**

Layer	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.
1	9715.000	10144.000	9818.741	106.656
2	8853.000	9522.000	9038.103	166.491
3	8171.000	9647.000	8471.017	360.139
4	7323.000	9361.000	7798.724	474.672
5	7499.000	17007.000	10573.466	2699.273
6	6430.000	14887.000	9092.862	1501.340
7	6036.000	10491.000	7444.563	1066.926
8	7745.000	9851.000	8132.259	484.166
9	5412.000	5463.000	5439.862	12.018
10	25348.000	26798.000	25733.362	233.226
11	22130.000	22579.000	22398.638	139.430

**Covariance Matrix:**

Layer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	11375.458	17064.676	37228.162	48404.401	229096.772	172212.350	100968.395	23623.928	261.841	10626.867	5189.712
2	17064.676	27719.330	58222.717	78332.766	376476.144	288981.898	161259.080	56321.288	542.822	17311.699	8076.617
3	37228.162	58222.717	133323.842	168042.338	848511.062	634637.722	367152.951	133947.276	1059.476	33290.941	14704.761
4	48404.401	78332.766	168042.338	225313.466	1068506.429	831890.629	465495.861	170944.125	1430.663	48931.242	22205.249
5	229096.772	376476.144	848511.062	1068506.429	7288076.429	4846217.539	2523357.730	830651.246	499.960	162638.600	36910.084
6	172212.350	288981.898	634637.722	831890.629	4846217.539	3730074.788	1981930.361	586896.036	5619.685	181786.489	64204.230
7	100968.395	161259.080	367152.951	465495.861	2523357.730	1991500.361	1138330.671	329358.254	3729.325	103751.387	41119.824
8	23623.928	56321.288	133947.276	170944.125	830651.246	586896.036	329358.254	234417.072	330.335	26413.484	11247.364
9	261.841	542.822	1059.476	1430.663	499.960	5619.685	3729.325	320.335	144.437	1701.086	1075.791
10	10626.867	17311.699	33290.941	48931.242	162638.600	181786.489	103751.387	26413.484	1701.086	54394.270	31307.387
11	5189.712	8076.617	14704.761	22205.249	36910.084	64204.230	41119.824	11247.364	1075.791	31307.387	19440.681

Fuente: Los Autores

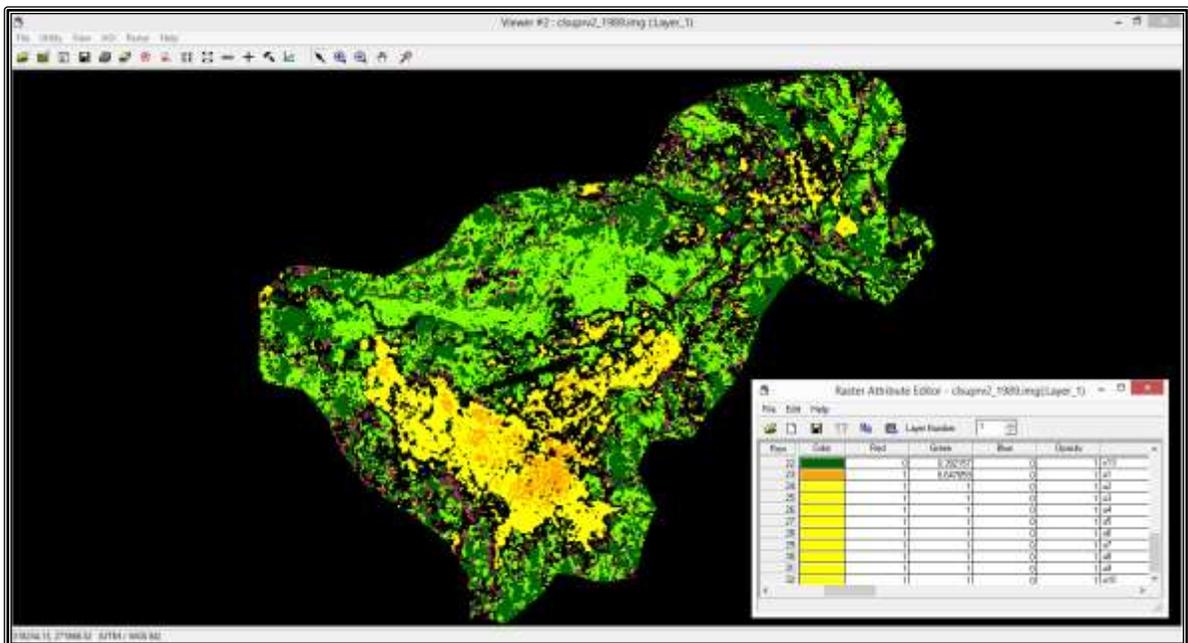
**Tabla 3. Signatures para las Clasificaciones Supervisadas año 1989, 2002 y 2014**

VARIABLE	AÑO		
	1989	2002	2014
CONSTRUCCIONES (U)	10	5	5
COBERTURA VEGETAL ( c)	13	5	5
RED HIDRICA (a)	6	5	5
INFRAESTRUCTURA VIAL (v)	3	5	5
SIGNATURE TOTAL	32	20	20

Fuente: Los Autores

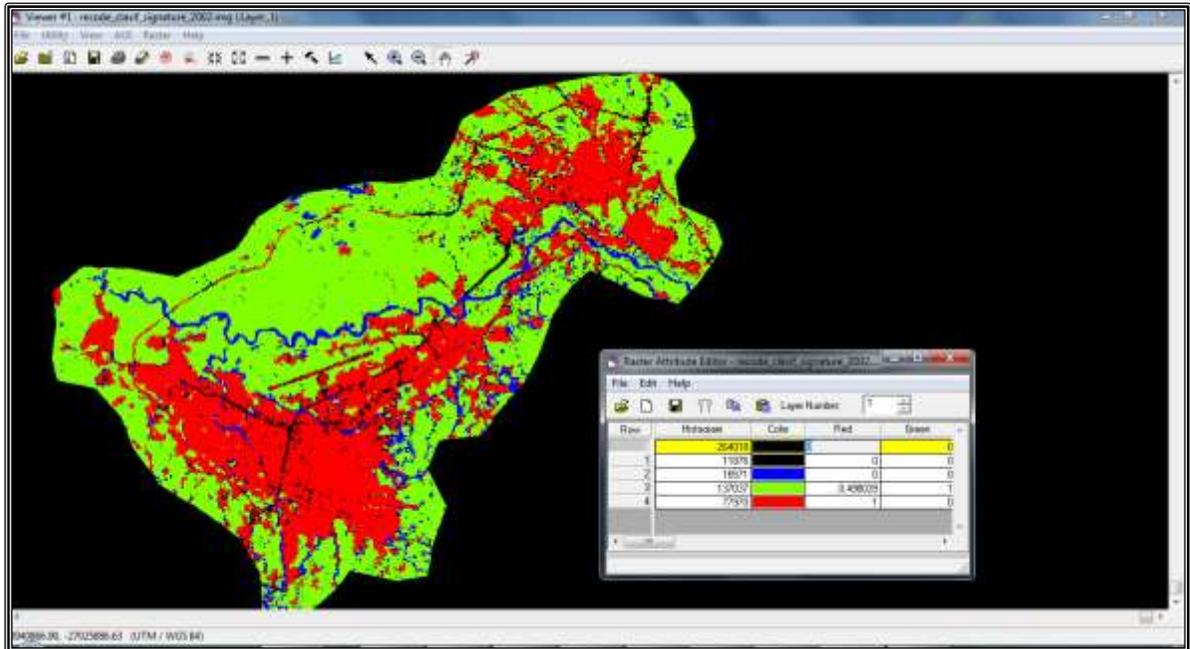
- Imagen Supervisión Clasificada y Atributos

**Ilustración 23. Imagen supervisión clasificada y atributos año 1989.**



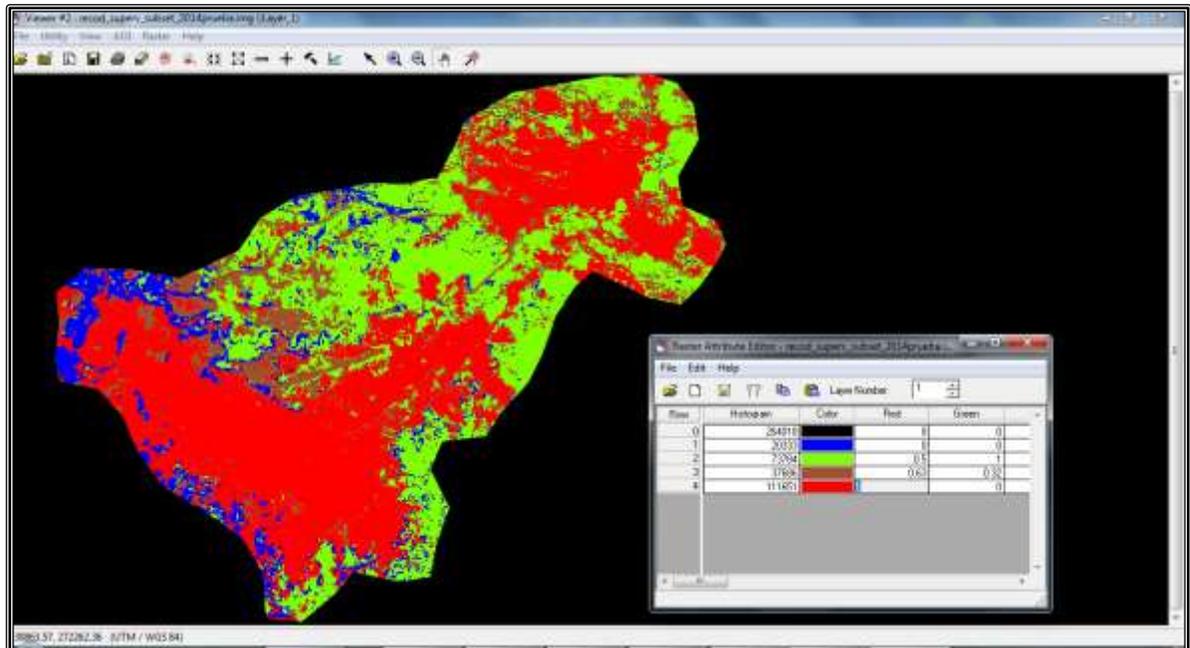
Fuente: Los Autores.

**Ilustración 24. Imagen supervisión clasificada año 2002.**



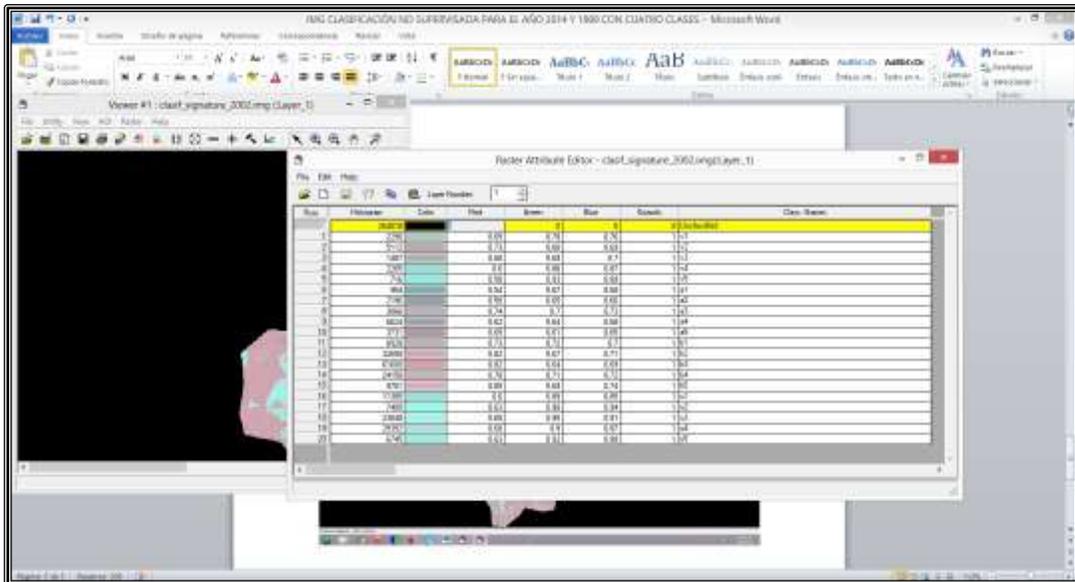
Fuente: Los Autores.

**Ilustración 25. Imagen supervisión clasificada y atributos año 2014**



Fuente: Los Autores

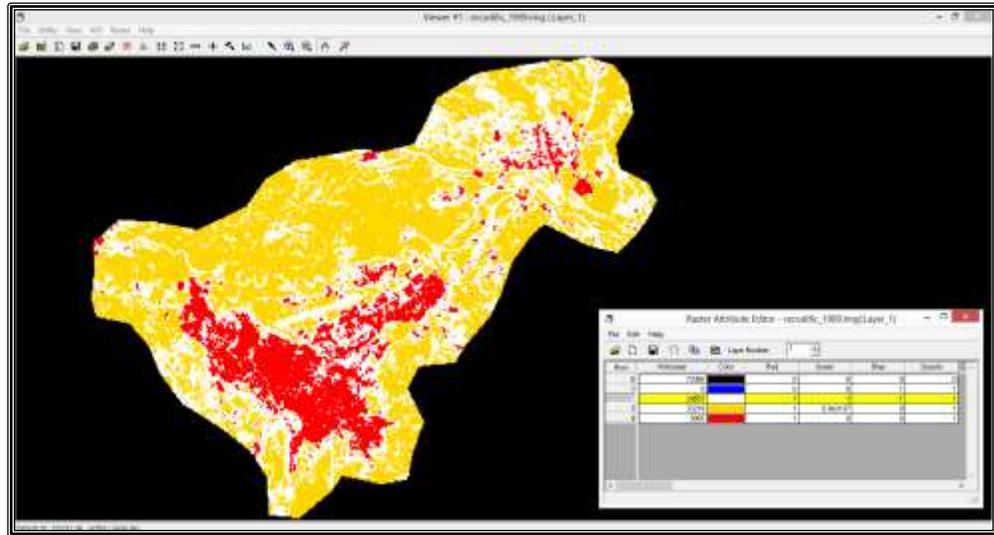
**Ilustración 26. Atributos imagen supervisión clasificada año 2002.**



Fuente: Los Autores.

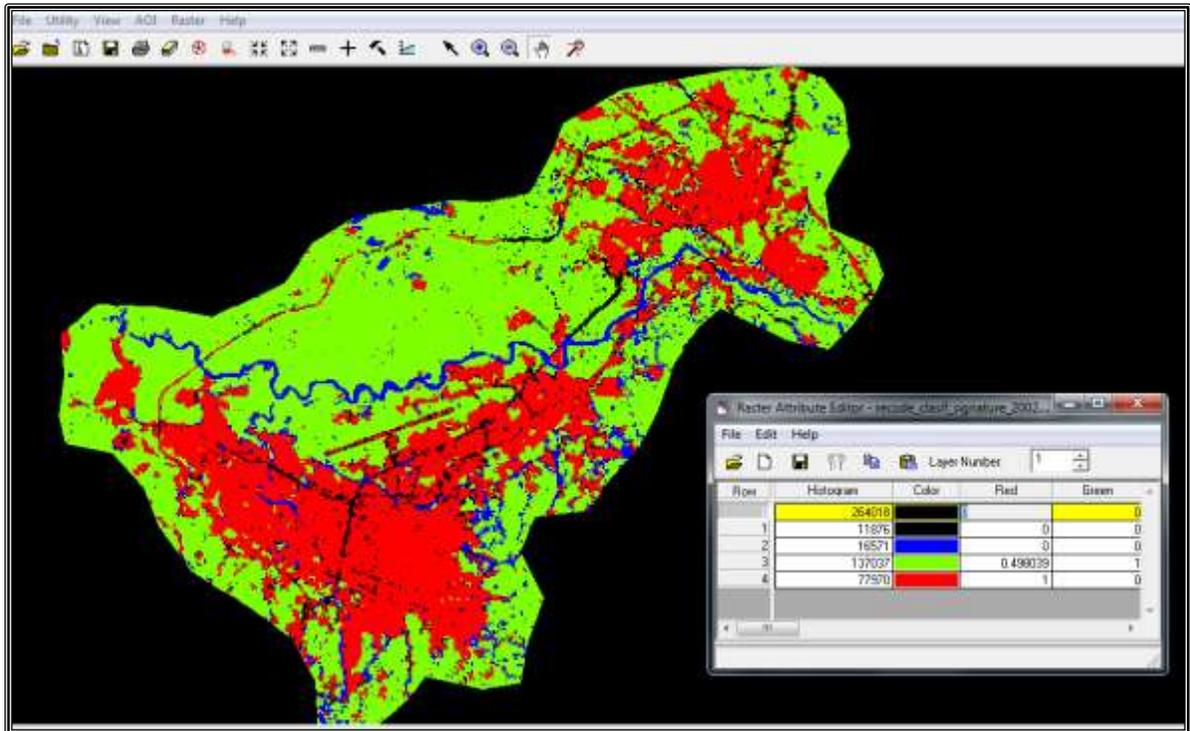
- Se escoge la clasificación Supervisada y no la No Supervisada, pues el interés en un principio fue el de clasificar cada una de las coberturas como en el caso de la vegetal que incluía varios elementos, pero debido a la escaso detalle en la resolución de la imagen se generalizó y teniendo el pleno conocimiento de la zona o área de estudio se decide realizar la clasificación supervisada con la combinación de bandas, con el fin de demostrar sobretodo la cobertura correspondiente a edificaciones y construcciones debido a que al realizarlo con la clasificación no supervisada se crean las clases (4) pero se tienen considerables valores respecto al perímetro y área, que en sí es el objetivo del proyecto.
- Con la herramienta RECODE en ERDAS, se realizó la Recodificación a la clasificación supervisada correspondiente al año 1989, en las cuatro variables cobertura urbana, vegetal, hídrica y vías. La función recodificación para áreas temáticas creando clases individuales de uso del suelo, y a mejorar una imagen clasificada usando una función de vecindad. Con esta herramienta podemos asignar a cada pixel de la imagen una de las clases anteriormente seleccionadas, como fruto de este proceso se obtiene una nueva imagen cuyos niveles digitales expresaran una categoría de acuerdo al algoritmo de Máxima Probabilidad, en donde el pixel se asigna a aquella clase con mayor probabilidad de pertenencia. (Poveda Gonzalez, 2015). teniendo presente aquí que el detalle o resolución de la imagen no es muy bueno para determinar coberturas de ríos y vías pues se entremezclan con la cobertura de tipo urbano y vegetal, para este proceso se utiliza la Herramienta Recode en ERDAS 9.2.

**Ilustración 27. Imagen Recodificada con las coberturas analizadas año 1989.**



Fuente: Los Autores.

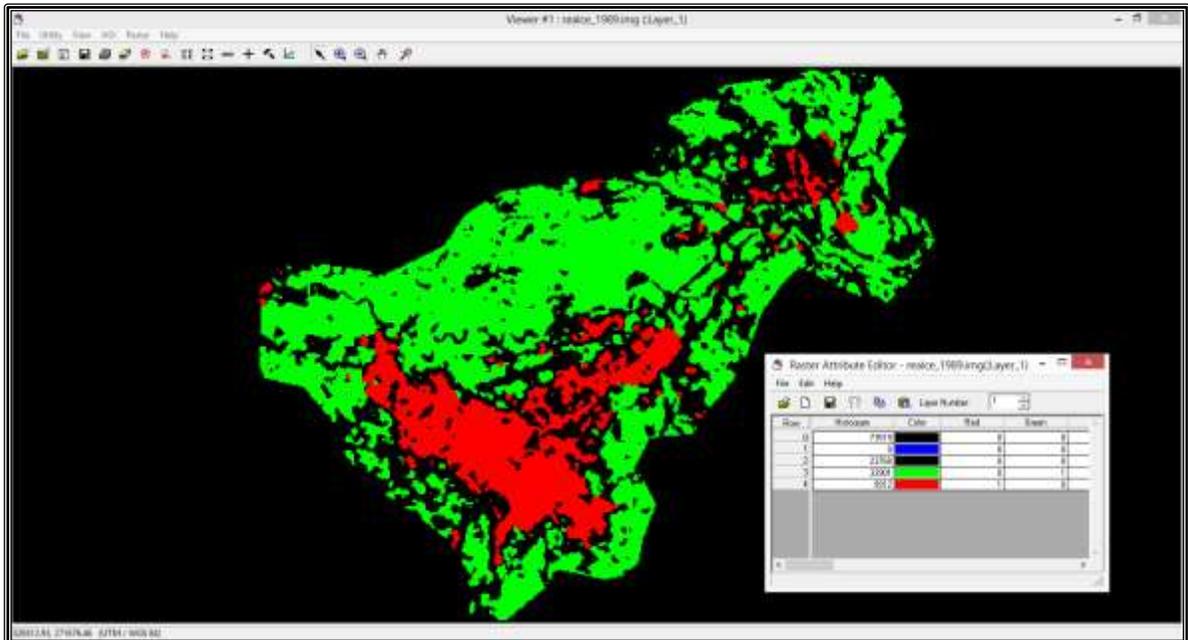
**Ilustración 28. Imagen Recodificada con las coberturas analizadas año 2002.**



Fuente: Los Autores.

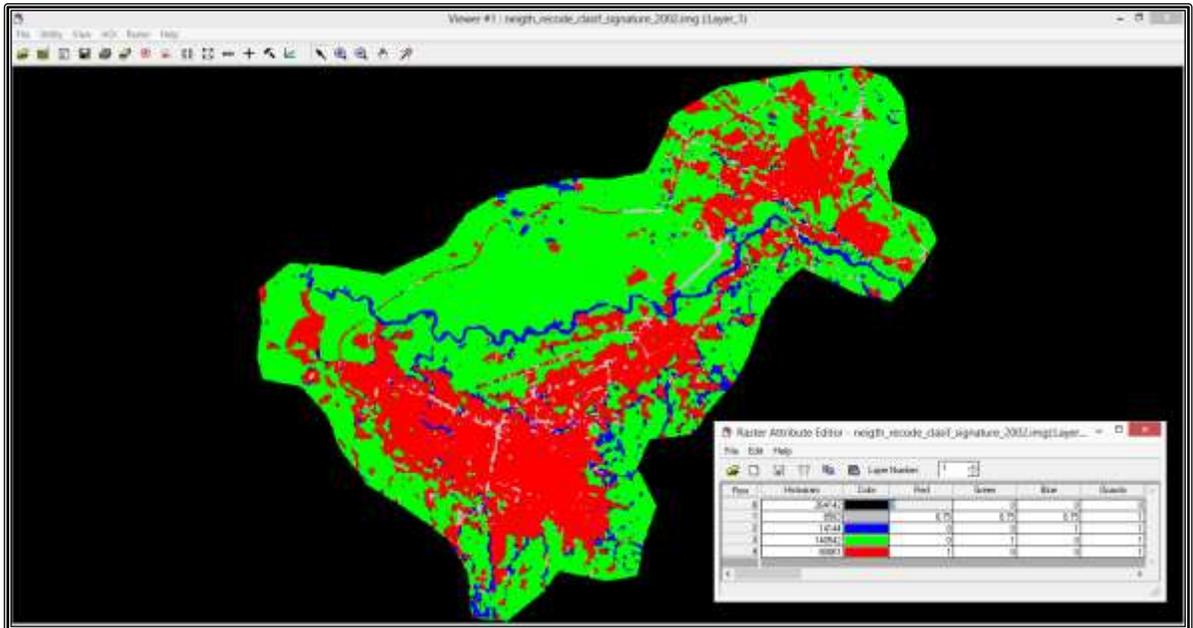
- Realce de la imagen con la herramienta Neighborhood en Erdas 9.2. Como la imagen resultado presenta problemas por el efecto Sal y Pimienta que consiste en una desordenada asignación de pixeles, se realizó un proceso de suavizado que permite reasignar aquellos pixeles que se presentan aislados para realizar una distribución más nítida de las distintas categorías. El suavizado se realiza mediante un filtro de paso bajo de Moda, de 3 \* 3 pixeles, que permite asignar el valor de pixel más frecuente entre los pixeles vecinos.

**Ilustración 29. Imagen con Realce para las coberturas analizadas año 1989.**



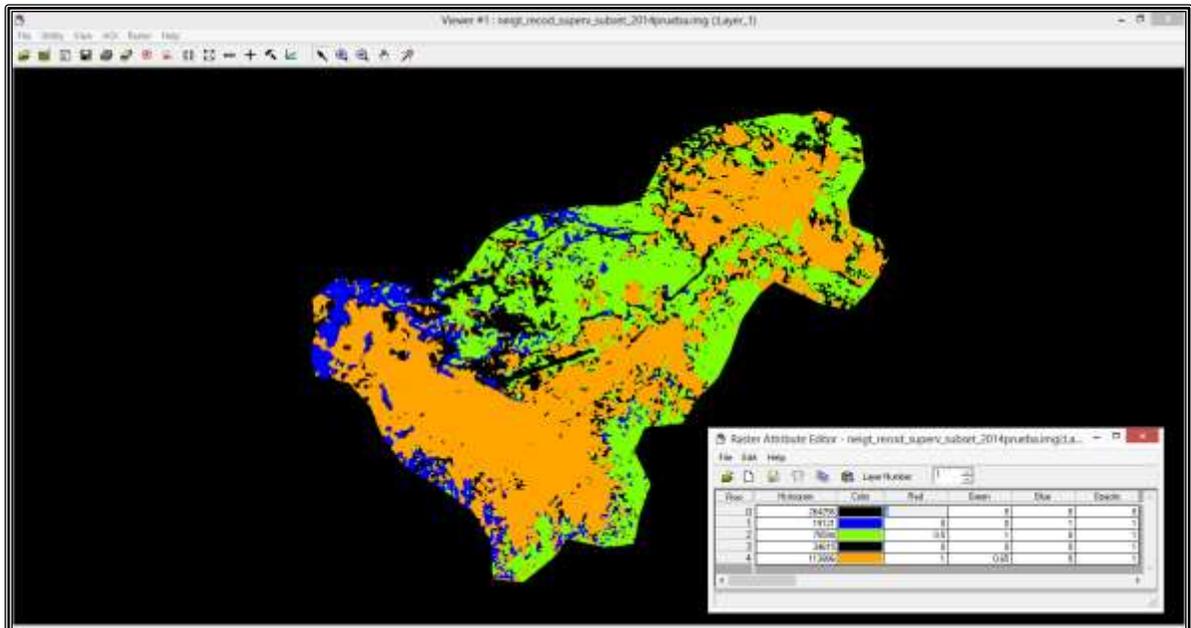
Fuente: Los Autores

**Ilustración 30. Imagen con Realce para las coberturas analizadas año 2002.**



Fuente: Los Autores

**Ilustración 31. Imagen con Realce para las coberturas analizadas año 2014.**



Fuente: Los Autores

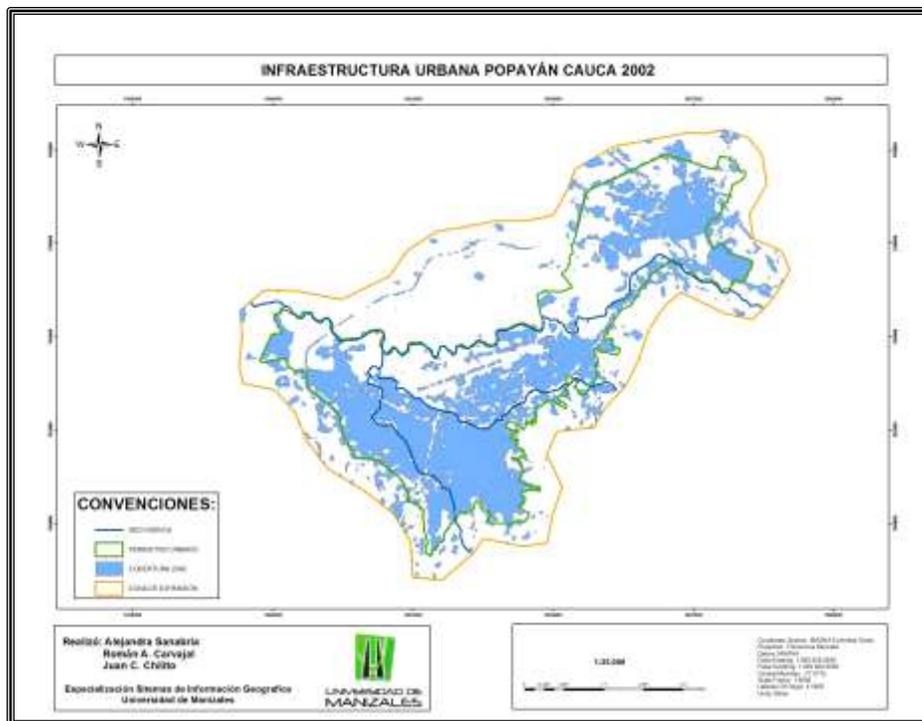
**5.2.3 Fase 3. Análisis Espacio-temporal y Zonificación:** consiste en identificar y analizar la evolución espacial (cambios en la cobertura) que ha tenido la ciudad de Popayán en el tiempo; también se realiza con el fin de tener información cartográfica de las geoformas, las diversas coberturas y usos que se visualizan en la ciudad, reconociendo áreas susceptibles.

- La cartografía del área se elaboró mediante análisis SIG en el software ERDAS 9.2 para el procesamiento de imágenes y el software ArcGIS para las salidas gráficas.
- Se visualiza las imágenes realzadas (Neighborhood) y se analizan cada uno de los componentes en sus tablas de atributos contenidos en las imágenes de los años 1989, 2002 y 2014.
- En esta actividad se convierte el Raster con realce producido en ERDAS con la herramienta (RASTER TO POLYGON) a polígono con el fin de determinar áreas y el perímetro de la zona de estudio y se presentan los respectivos mapas con cada una de las variables y datos analizados.
- Cada una de las imágenes con Realce trabajadas en Erdas con los atributos de coberturas correspondiente a Urbana, Vegetal, Red hídrica y Rios se procesan y se hace la conversión en ARCMAP desde Raster a Polígono; para ello se despliega el ARCTOOLBOX y se escoge la herramienta Conversión tools y después realizar el procedimiento From Raster to Polygom, para que por defecto en este caso se haga la conversión de Raster a polígono.
- Hecha la conversión de la imagen Raster lo que se obtiene son polígonos que por defecto hace el procedimiento en Arcmap y que ahora con la conversión se tiene en formato VECTOR; información que se despliega en el visor, se revisa año por año de trabajo en cada una de las coberturas producidas, se revisa sus propiedades de esos nuevos shp's en Simbology por único valor, se escoge el GRIDCODE y se adicionan los valores, apareciendo en pantalla por color cada una de las coberturas clasificadas.
- Para seleccionar el área o cobertura de interés en este caso relacionada con infraestructura urbana se hace una selección por atributos señalando en el shp cobertura GRIDCODE = 4 que corresponde a lo Urbano, este mismo procedimiento se realiza para los demás shp's.
- Teniendo ya seleccionada la cobertura de interés se guarda en formato shp aparte, de manera que se pueda realizar después comparaciones entre estos, como es el caso de análisis tipo visual y estadístico, mediante áreas y gráficos que demuestran el perímetro y las áreas por cada cobertura correspondientes a los años 1989, 2002 y 2014.
- Otra de las herramientas utilizadas en el Arctoolbox fue la de Merge en Data Managent tolos, General, función que permitió unir todos los shp's de cobertura urbana de los diferentes años en un solo shp, cuestión que permitió el despliegue y la demostración mediante la representación de las áreas en gráficos.

- Finalmente se genera la cartografía ( Layout) correspondiente a coberturas por año, en donde se muestra mediante el color y polígono el área de infraestructura urbana, además se le añade los shp de perímetro urbano y la zona de expansión establecida por el grupo de trabajo, información que permitió efectuar los resultados y recomendaciones del trabajo.

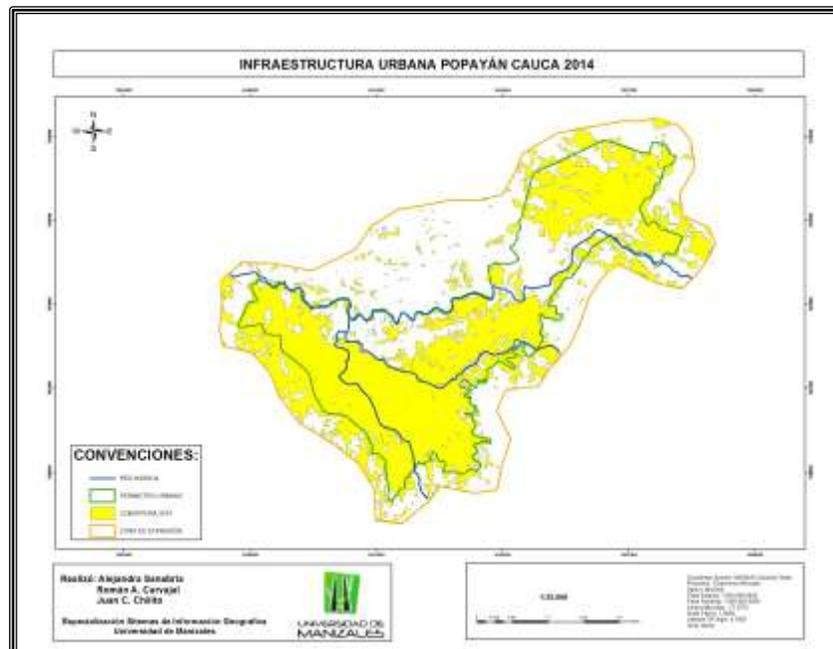


**Ilustración 33. Mapa Infraestructura Popayán con imagen de fondo de coberturas para el año 2002.**



Fuente: Los Autores

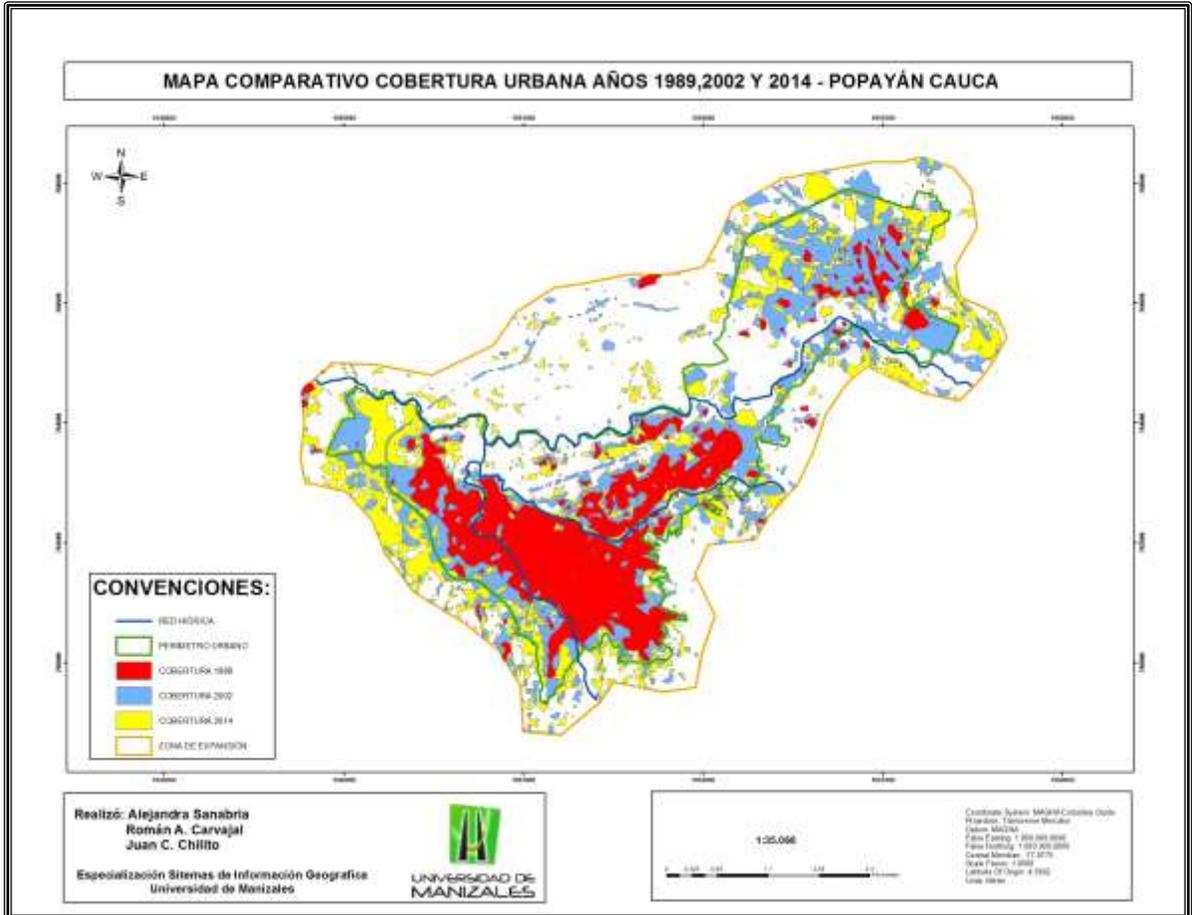
**Ilustración 34. Mapa Infraestructura Popayán con imagen de fondo de coberturas para el año 2014.**



Fuente: Los Autores

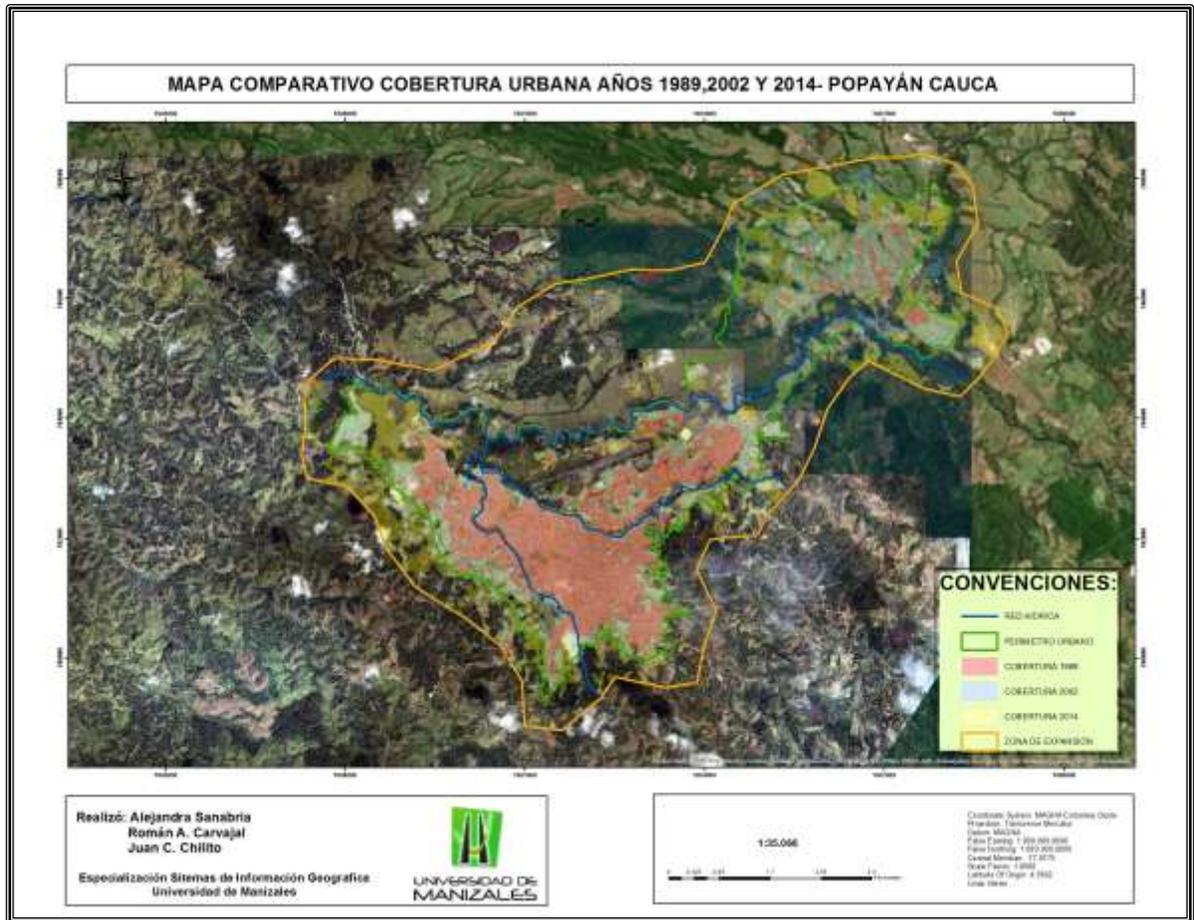
Se presenta a continuación la comparación de la cobertura de expansión en el periodo analizado (25 años) con las tres imágenes año 1989, 2002 y 2014. .

**Ilustración 35. Mapa Comparativo Cobertura Urbana Popayán, años 1989, 2002 y 2014.**



Fuente: Los Autores.

**Ilustración 36. Mapa Comparativo Cobertura Urbana Popayán, años 1989, 2002 y 2014, Google Earth.**



Fuente: Los Autores.

**Tabla 4. Incremento del perímetro en el tiempo de estudio el municipio de Popayán.**

AÑO	PERIMETRO Km	INCREMENTO (%)
1989	98.732	0
2002	227.324	230.24
2014	292.556	296.32

Fuente: Los Autores.

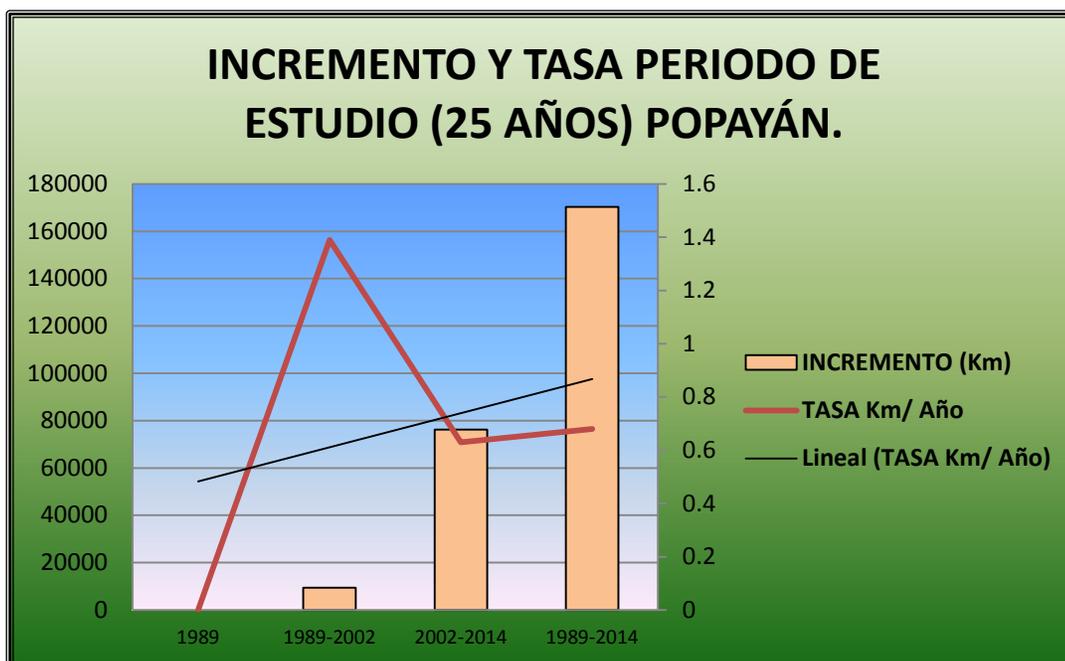
Se establece el porcentaje de incremento frente al año 1989.

**Tabla 5. Incremento de la Expansión Urbana para el periodo 1989 – 2014 municipio de Popayán.**

PERIODO	PERIODO (Años)	AREA ha	AREA km	INCREMENTO (Km)	INCREMENTO (%)	TASA Km/Año
1989	0	866.646	8.666	0	0	0
1989-2002	13	1808.21	18.082	9.416	208.7	1.39
2002-2014	12	2569.95	25.6995	7.6175	142.1	0.63
1989-2014	25	1703.304	17.0335	17.0335	296.6	0.68

Fuente: Los Autores

**Gráfico 1. Incremento (KM) y Tasa (Km/Año) Expansión Urbana Popayán, durante el periodo de estudio (25 años).**



Fuente: Los Autores

- En la imagen Supervisada Clasificada del año 1989 se observa la presencia de cobertura vegetal bosque aislado hacia los cerros tutelares, ubicados al oriente y nor-oriente de la ciudad de Popayán, como también la presencia de lotes y predios hacia el occidente de la ciudad que usualmente se han utilizado en actividades ganaderas y agrícolas; otra cobertura que se destaca es la presencia de la red hídrica que atraviesa la ciudad con ríos como el Cauca, Río Molino y Ejido.
- En la Ilustración 23. Imagen supervisión clasificada y atributos año 1989. se destaca la presencia de la cobertura urbana con el color amarillo en este

caso; se distinguen también en verde intenso pastos y verde oscuro coberturas de pequeños bosques.

- Otra particularidad que se nota claramente en la imagen satelital analizada para el año 1989 de la ciudad de Popayán respecto a la cobertura urbana al realizar clasificación supervisada, es la presencia de un color característico en el Centro Histórico que llama la atención, pues al realizar la clasificación respecto a las construcciones urbanas se pudo detallar que ese color característico de ese sector lo daban los techos de material de teja o barro.
- Es claro que el incremento de la cobertura urbana es notable en el transcurrir de los años en la ciudad de Popayán Cauca; teniendo en cuenta algunos antecedentes ocurridos, como el terremoto sucedido el 19 de Abril de 1983, suceso que generó el arribo de comunidades, provenientes de otras poblaciones en busca de oportunidades de vivienda.

La cobertura urbana entre los años 1989 y 2002 presenta un incremento de 9.41 kilómetros en un periodo de 13 años con una tasa de crecimiento de 1.39 km/año, el cambio de uso del suelo para este periodo se dio al nor oriente y nor-occidente del casco urbano principalmente hacia los barrios Bello Horizonte, La Paz y la zona las Guacas, aunque también es importante el crecimiento asociado a la vía panamericana que atraviesa la ciudad de sur a norte y hacia el sur del río Cauca con los nuevos proyectos de vivienda de carácter social implementados por el gobierno nacional, tierras que en el pasado eran destinadas al uso pecuario de propiedad de las clases adineradas, que en la actualidad están en búsqueda de vivienda campestre y para actividades recreativas, abandonando las zonas centrales y emigrando hacia la periferia de la ciudad, presionando por tierra para emplazamiento de estratos altos, generando una rápida valorización de predios suburbanos e incentivando la expansión del perímetro urbano de la ciudad hacia la periferia.

- El crecimiento urbano para el periodo 2002-2014 es notable, con un valor de 7.61 Km para este periodo, a una tasa de 0.63 Km/Año, con un crecimiento marcado hacia el sur occidente de la ciudad desbordando el perímetro urbano a causa de la construcción de la variante y los menores costos de la tierra en la periferia, que impulsan la urbanización de bajo costo para sectores de estratos bajos y la ubicación de poblaciones desplazadas. Además de los asentamientos y construcciones subnormales que se han ubicado en torno a los cerros tutelares y hacia al sur oriente de la ciudad.

## 6.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Por la resolución de la imagen en ocasiones se dificulta el análisis de coberturas hídricas o redes hídricas y de transporte, se da el caso en donde su resolución espectral se mezcla con otras coberturas como la vegetal y la Urbana; situación que dificulta el procedimiento, actividad que obligó a utilizar y tomar como base algunas fotos aéreas de la zona de estudio con el fin de determinar y visualizar de una mejor manera aspectos del terreno.

## 7. CONCLUSIONES

- El área de expansión de la ciudad de Popayán para el periodo 1989-2014 fue de 17.0335 Km, con una tasa de crecimiento es de 0.68 Km/Año.
- La expansión urbana de la ciudad de Popayán para el periodo 1989-2014 se dio principalmente por factores como la construcción de la variante y por el cambio de uso del suelo de la zona norte en los predios que en el pasado fueron destinados a la producción ganadera de propiedad de las clases adineradas que abandonan las zonas centrales y emigran hacia la periferia de las ciudades presionando por tierra para emplazamiento de estratos altos, generando una rápida valorización de predios suburbanos e incentivando la expansión del perímetro urbano de la ciudad, que paulatinamente se ha convertido en sitios de descanso de las familias adineradas de la región.
- La cobertura vegetal del municipio de Popayán presenta una disminución considerable, en especial en las riveras y cabeceras de las cuencas hidrográficas, situación que con los fenómenos naturales del Niño y la Niña aumentan la vulnerabilidad de la población y hacen que la materialización del riesgo aumente, generando un alto impacto ambiental en los ecosistemas y calidad de vida de sus habitantes.

## 8. RECOMENDACIONES

- El análisis multitemporal de crecimiento urbano permite realizar el seguimiento del incremento que proporciona la oportuna toma de decisiones conforme con políticas de planificación territorial. De igual manera presenta las siguientes ventajas:
  - Toma de decisiones en el manejo y control de los ecosistemas
  - Determinación de usos del suelo
  - Determinación de zonas de riesgo, manejo de la cobertura vegetal e hídrica del área de estudio.
  - Analiza la dinámica y las consecuencias de las transformaciones naturales y antrópicas del territorio
- Se recomienda para estudios de estas características contar con imágenes satelitales con mayor resolución de terreno, ya que facilita la identificación de las diferentes coberturas presentes en las regiones de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo. (2015). *El Payanes*. Recuperado el 11 de Octubre de 2015, de El Payanes: <https://elpayanes.wordpress.com/popayan/>
- Anzoátegui Mercado, B. (s.f.). *Observatorio Geográfico América Latina*. Recuperado el 09 de Octubre de 2015, de Observatorio Geográfico América Latina:  
<http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal11/Geografiasocioeconomica/Geografiaurbana/28.pdf>
- Cauca, C. A. (s.f.). *Conocimiento Ambiental*. Recuperado el 10 de Agosto de 2015, de Conocimiento Ambiental:  
<http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POMCH/Rio%20Molino-Pubus/Crecimiento%20Urbano,%20Tramas%20y%20Morfologia.pdf>
- Cauca, G. d. (s.f.). *Gobernación del Cauca*. Recuperado el 10 de Agosto de 2015, de Gobernación del Cauca:  
<http://www.ikernell.net/gobernacion/4dm1n1str4c10n/portal/estadisticas.php>
- Cifuentes Ruiz, P. A., & Londoño Linares, J. P. (2010). Análisis del Crecimiento urbano: Una aproximación al estudio de los factores de crecimiento de la Ciudad de Manizales como aporte a la planificación. . *Revista Gestión y Ambiente*, 53-66.
- Fernández - Coppel, I. A., & Herrero Llorente, E. (2001). *El Satelite Landsat. Análisis Visual De Imágenes Obtenidas Del Sensor Etm+*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Geographic, N. (s.f.). *National Geographic*. Recuperado el 17 de Agosto de 2015, de National Geographic: <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/habitats/urban-sprawl>
- GLCF. (s.f.). *Global Land Cover Facility*. Recuperado el 11 de Agosto de 2015, de Global Land Cover Facility: <http://glcfapp.glc.f.umd.edu:8080/esdi/>
- Hernández Gómez , A., Rojas Robles, R., & Sánchez Calderón, F. V. (2013). Cambios en el uso del suelo asociados a la expansión urbana y la Planeación en el Corregimiento de Pasquilla, zona rural de Bogotá (Colombia). *Cuadernos de Geografía, Revista Colombiana de Geografía*, 257-271.
- Herrera, V. (2001). Estudio del Crecimiento Urbano de la Ciudad de Valdivia (Chile) a través del uso integrado de imágenes de satélite, SIG y equipos GPS. *Revista de Teledetección*, 1-9.
- Hofstee, P., & Brusse, M. (1999). *Análisis de aptitud para la Expansión Urbana*. Department of Land Resource and Urban Sciences, International Institute for Geoinformation Sciences and Earth Observation (ITC).
- IBM. (s.f.). *IBM 100 Historias Locales*. Recuperado el 11 de Octubre de 2015, de IBM 100 Historias Locales: <http://www-03.ibm.com/ibm/history/ibm100/co/es/stories/censo.html>

- ICONTEC, I. C. (2004). *SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL REQUISITOS DE ORIENTACIÓN PARA SU USO*. Bogotá: ICONTEC.
- Marbelo. (s.f.). Recuperado el 21 de Octubre de 2015, de <https://marbelo.webs.ull.es/rs1.pdf>
- Massiris Cabeza, Á., Espinoza Rico, M. A., Ramírez Castañeda, T., Rincón Avellaneda, P., & Sanabria Artunduaga, T. (Julio de 2012). *Procesos Ordenamiento America Latina Colombia*. Recuperado el 11 de Octubre de 2015, de Procesos Ordenamiento America Latina Colombia: <http://www.facartes.unal.edu.co/otros/ProcesosOrdenamientoAmericaLatinaColombia.pdf>
- Murcia, U. d. (s.f.). *Fotointerpretación y Teledetección*. Recuperado el 19 de Octubre de 2015, de <http://www.um.es/geograf/sig/teledet/>
- Observations, G. o. (Junio de 2015). *Group on Earth Observations*. Recuperado el 11 de Agosto de 2015, de Group on Earth Observations: <http://earthobservations.org/index.php>
- Plata Rocha, W., Gómez Delgado, M., & Bosque Sendra, J. (15 de Junio de 2009). *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Recuperado el 10 de Octubre de 2015, de Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-293.htm>
- Popayán, A. D. (2013). *Plan de Ordenamiento Territorial*. POPAYAN.
- Poveda Gonzalez, R. E. (2015). *Análisis multitemporal de la expansión urbanística del municipio de la calera, Cundinamarca, Colombia*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- UNESCO. (s.f.). *UNESCO*. Recuperado el 11 de Agosto de 2015, de UNESCO: <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-30-urban-expansion/>
- USGS. (s.f.). *USGS*. Recuperado el 11 de Agosto de 2015, de USGS: <http://www.usgs.gov/>