



**Análisis multitemporal de la expansión urbana en el municipio de Zipaquirá,
Cundinamarca en el periodo 1991-2022**

Adriana Paola Triana Castrillon

Código

11792214153

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y CIVIL

ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

BOGOTÁ D.C., 2023

**Análisis multitemporal de la expansión urbana en el municipio de Zipaquirá,
Cundinamarca en el periodo 1991-2022**

Adriana Paola Triana Castrillon

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director:

Andrés Felipe Carvajal Vanegas, Dr.

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y CIVIL

ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

BOGOTÁ D.C., 2023

Contenido

Pág.

1.	Introducción	3
2.	Objetivos	5
2.2.	Objetivo General	5
2.3.	Objetivos Específicos.....	5
3.	Marco Teorico y Estado Del Conocimiento.....	6
3.1.	Percepción Remota.....	6
3.2.	Imágenes Satelitales	7
3.2.1.	Imágenes Landsat	8
3.3.	Clasificación De Imágenes	8
3.4.	Análisis Multitemporal y Detección De Cambios De Cobertura	9
3.5.	Estado Del Conocimiento.....	10
3.5.1.	Contexto Internacional	10
3.5.2.	Contexto Nacional	12
4.	Metodología	14
4.1.	Localización	14
4.2.	Insumos	15
4.2.1.	Imágenes Landsat	15
4.2.2.	Software	16
4.3.	Procedimiento	16
4.3.1.	Selección del área de estudio	16
4.3.2.	Preprocesamiento de Imágenes Satelitales	18
4.3.3.	Procesamiento de Imágenes Satelitales	20
5.	Resultados y discusión	29
6.	Conclusiones	37
7.	Bibliografía	38

Lista de Figuras

Figura 1. Área de estudio	15
Figura 2. Esquema metodológico procesamiento digital de imágenes	17
Figura 3. Imágenes Pre-proceadas	19
Figura 4. Model Maker Matriz De Varianzas Y Covarianzas.....	21
Figura 5. Model Maker Matriz de Correlación.....	22
Figura 6. Imágenes Zona de Estudio Combinación del OIF	23
Figura 7. Puntos de Control Clasificación de Imagen Landsat 8. Fuente propia.....	25
Figura 8. Reporte de Clasificación Imagen Landsat 8	26
Figura 9. Coberturas Clasificación Supervisada	26
Figura 10. Coberturas Identificadas Formato Raster	28
Figura 11. Crecimiento Urbano Municipio de Zipaquirá	30
Figura 12. Cambio Multitemporal Elaboración propia.....	30
Figura 13. Diferencia Análisis Multitemporal Y Perímetro Urbano	31
Figura 14. Mapa de tratamiento de suelos y Expansión urbana	33
Figura 15. Variación distribución poblacional.....	35

Lista de tablas

Tabla 1. Datos de imágenes satelitales	16
Tabla 2. Estadísticas Unibanda.....	20
Tabla 3. Matriz De Varianzas Y Covarianzas.....	21
Tabla 4. Matriz de Correlación.....	22
Tabla 5. Cálculo de OIF Landsat	23
Tabla 6. Área urbana municipio de Zipaquirá	29
Tabla 7. Tasa anual de cambio de la superficie Municipio de Zipaquirá.....	32
Tabla 8. Distribución poblacional según censos.....	34
Tabla 9. Densidad poblacional urbana por kilómetro	36

Resumen

El desarrollo del presente trabajo se realizó un análisis multitemporal de la expansión urbana del municipio de Zipaquirá, Cundinamarca, en este análisis se hizo uso de imágenes satelitales Landsat de diferentes años las cuales son de descarga gratuita, las imágenes satelitales correspondieron a la de los años 1991, 2011 y 2021.

Para determinar las áreas urbanas para cada periodo, se realizó una clasificación supervisada de las imágenes con el software Erdas Imagine, previamente a esta clasificación, se realizó el preprocesamiento y alistamiento de las imágenes, para lo cual se determinó en primer lugar el área de estudio, seguidamente se realizó la composición multiespectral, se re-proyectaron las imágenes al sistemas de coordenadas, el re-escalado en donde se pasa de 16 bit a 8 bit, se recortó la imagen de estudio, finalmente se realizó un mejoramiento espacial con la herramienta Pansharpening para las imágenes Landsat 7 y 8 y la Banda 8 que corresponde a la imagen pancromática.

Finalmente se realizó la clasificación supervisada para cada una de las imágenes satelitales, identificando el área urbana del municipio de Zipaquirá para los periodos de 1991, 2011 y 2021, el análisis evidencio un aumento considerable en el área urbana en el periodo de 1991 al 2011, durante el periodo de 2011 al 2021 se mantiene igual un crecimiento, la expansión urbana se ha dado principalmente al oriente de la cabecera municipal, en dirección a la vía de Zipaquirá a Ubaté.

Palabras claves: Análisis multitemporal, imágenes satelitales, Imágenes Landsat, expansión urbana, cambio de cobertura.

Abstract

The development of this work was carried out a multitemporal analysis of the urban expansion of the municipality of Zipaquirá, Cundinamarca, in this analysis Landsat satellite images of different years were used, which are free to download, the satellite images corresponded to that of the years 1991, 2011 and 2021.

To determine the urban areas for each period, a supervised classification of the images was carried out with the Erdas Imagine software, prior to this classification, the pre-processing and readiness of the images was carried out, for which the study area was first determined. , then the multispectral composition was carried out, the images were re-projected to the coordinate systems, the re-scaling where it goes from 16 bit to 8 bit, the study image was cut, finally a spatial improvement was carried out with the tool Pansharpening for Landsat 7 and 8 images and Band 8 that corresponds to the panchromatic image.

Finally, the supervised classification was carried out for each of the satellite images, identifying the urban area of the municipality of Zipaquirá for the periods of 1991, 2011 and 2021, the analysis showed a considerable increase in the urban area in the period from 1991 to 2011, during the period from 2011 to 2021 growth remains the same, urban expansion has occurred mainly to the east of the municipal seat, in the direction of the road from Zipaquirá to Ubaté.

Keywords: Multi-temporal análisis, satellite image, Landsat image, urban expansion, change of coverage.

1. Introducción

El municipio de Zipaquirá, es uno de los municipios que componen la provincia de la sabana centro de Cundinamarca, esta provincia está compuesta por los municipios Cajicá, Chía, Cogua, Cota, Gachancipá, Nemocón, Sopo, Tabio, Tenjo, Tocancipá y Zipaquirá, la mayoría de estos han sufrido un crecimiento urbano potenciados por su cercanía a la ciudad de Bogotá.

A partir de 1950, en Colombia se observa la tendencia desbordada de crecimiento urbano y el origen de procesos como la metropolización, su urbanización y conurbación, la sabana de Bogotá ha experimentado un fuerte desarrollo enmarcado por las relaciones de su cercanía con la capital ocupándose de manera aleatoria sin directrices generales de ordenamiento, en detrimento de la calidad ambiental. (LAMPREA AVELLANEDA FERDY ANTONIO, 2017). El municipio de Zipaquirá no ha estado exento de este fenómeno y ha experimentado en las últimas décadas un aumento tanto de la población como la densidad de viviendas y proyectos urbanísticos, de acuerdo a la secretaría de planeación del departamento de Cundinamarca el municipio de Zipaquirá registra un licenciamiento de vivienda para el periodo de 2007 al 2019 un 1.9% equivalente a 1.5 millones de m²(SECRETARÍA DE PLANEACIÓN DEPARTAMENTAL DIRECCIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO, 2020).

Según el Departamento Nacional de Estadística DANE, el censo de población y vivienda 2018 arrojó un total de población para el municipio Zipaquirá de 129,652 personas. De acuerdo a la proyección de población establecida por la Gobernación de Cundinamarca el municipio de Zipaquirá para el año 2023 tendrá una población de 161.445, con una población urbana de 136.881 y rural de 24.564.

De acuerdo a lo anterior en el presente estudio se busca Analizar el crecimiento urbano en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca, mediante un análisis multitemporal de imágenes de

satélite Landsat, en el periodo comprendido entre 1991 y 2022 de esta manera determinar los cambios en el uso de coberturas y evidenciar la expansión urbana que ha experimentado el municipio. En este sentido los análisis multitemporales a través de imágenes satelitales permiten analizar dichos cambios, un análisis Multitemporal empleando técnicas de teledetección son considerados como una herramienta fundamental en el manejo de información espacial y detección de cambios. La detección de cambios consiste en identificar diferencias en el estado de una característica o fenómeno por observaciones que se hacen en diferentes épocas. Las imágenes de sensores remotos ofrecen una fuente invaluable de datos para detectar y seguir cambios de un determinado fenómeno.(Riaño, 2002).

2. Objetivos

2.2. Objetivo General

- Analizar el crecimiento urbano en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca, mediante un análisis multitemporal de imágenes de satélite, en el periodo comprendido entre 1991 y 2022.

2.3. Objetivos Específicos

- Identificar las áreas urbanas en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca, para los años 1991 y 2022.
- Realizar el análisis de crecimiento urbano del municipio de Zipaquirá en el periodo comprendido entre 1991 y 2022.

3. Marco Teorico y Estado Del Conocimiento

En este trabajo se analiza el crecimiento urbano en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca, mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat. Para un mejor entendimiento de este análisis, es necesario abordar algunos conceptos teóricos, los cuales se presentan a continuación.

3.1. Percepción Remota

La percepción remota o teledetección es la ciencia de obtener e interpretar la información a distancia, usando sensores que no están en contacto físico con el objeto que se está observado, La ciencia de la percepción remota o teledetección en su sentido más amplio incluye observación de aéreas, atmósferas de los planetas en nuestro sistema solar, aunque la Tierra es obviamente el objeto de estudio más frecuente (Randall B, 2012).

La percepción remota o teledetección utiliza sensores instalados en aeronaves o satélites para detectar señales electromagnéticas emitidas por la superficie de la tierra, esta energía es asociada con una amplia gama de longitudes de onda, formando el espectro electromagnético, la longitud de onda generalmente se mide en micrómetros (1×10^{-6} m, 10^{-9} m). Conjuntos discretos de longitudes de onda continuas (llamadas bandas de onda) han recibido nombres como banda de microondas, la banda infrarroja y la banda visible (Mather & Tso, 2016).

En este sentido la transferencia de datos de la superficie al sensor, siempre es hecha a través de energía. Todo cuerpo con temperatura irradia energía electromagnética en diferentes longitudes de onda. Según la teoría ondulatoria la energía electro-magnética se transmite en el espacio, mediante un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz ($c=299.792.458$ m/s) y tiene dos campos de fuerzas perpendiculares entre sí: eléctrico y magnético. Las características de este

flujo se definen como longitud de onda (λ) y frecuencia (F), así a mayor longitud de onda, o menor frecuencia, el contenido energético será menor o viceversa(Chuvieco Emilio, 1990).

Los elementos involucrados en un proceso de teledetección desde satélites en primer lugar requieren disponer de una fuente de energía que ilumine o provea energía al objeto de interés (cultivo, bosque, mar, ciudad, etc.). El caso más habitual consiste en que esa fuente sea el Sol. La radiación solar, en su “viaje” hacia la Tierra, atraviesa e interacciona con la atmósfera. Una vez alcanza la superficie terrestre interactúa con los objetos que en ella se encuentran. La radiación reflejada dependerá de las características de esos objetos, permitiendo distinguir a unos de otros. Un sensor a bordo de un satélite recoge y graba esa radiación reflejada por la superficie terrestre y la propia atmósfera(Labrador et al., 2012).

3.2.Imágenes Satelitales

Las Imágenes Satelitales están confeccionadas por matrices, en las que cada celda representa un píxel, las dimensiones de este píxel dependerá de la Resolución espacial del sensor. Los sensores registran la radiación electromagnética que proviene de las distintas coberturas y las almacena en cada píxel, de acuerdo a los intervalos de longitudes de onda, en las que este programado el sensor para captar. Esta energía electromagnética es representada en cada píxel por un valor digital al cual se le agrega una tonalidad, este valor es llamado Nivel Digital (ND), la cantidad de niveles digitales que se podrá representar dependerá de la Resolución Radiométrica del sensor, para un sensor con Resolución Radiométrica de 8 bit los niveles digitales varían entre 0 y 255, siendo en la escala de grises el cero igual al color negro y el 255 igual al color blanco (MSc. et al., 2013).

3.2.1. Imágenes Landsat

El Proyecto Landsat ha proporcionado datos calibrados de resolución espacial moderada de alta calidad de la superficie de la Tierra a una comunidad de usuarios amplia y variada desde 1972. Las imágenes Landsat brindan información que satisface las necesidades amplias y diversas de los agronegocios, los investigadores del cambio global, la academia, los estados y los gobiernos locales. gobiernos, usuarios comerciales, agencias de seguridad nacional, la comunidad internacional, los tomadores de decisiones y el público (*Landsat Satellite Missions | U.S. Geological Survey*, n.d.).

El Landsat 8 posee dos sensores primarios el Operational Land Imager (OLI), y el Sensor infrarrojo térmico (TIRS). El OLI recopila datos de 30 metros para bandas espectrales visibles, casi infrarrojas e infrarrojas de onda corta y proporciona una banda panorámica de 15 metros. Lo nuevo con OLI es la adición de una banda de aerosol costero azul profundo de 30 metros (Banda 1) para estudios de aerosoles y aguas costeras y una banda Cirrus de 30 metros (Banda 9), El instrumento TIRS recopila datos para dos bandas espectrales estrechas en la región térmica, anteriormente cubiertas en instrumentos Landsat anteriores por una banda espectral ancha. Aunque TIRS es un instrumento separado, los datos TIRS de 100 metros se registran en los datos OLI para crear productos de datos de 12 bits con corrección radiométrica, geométrica y del terreno (USGS, 2015).

3.3. Clasificación De Imágenes

Las técnicas de clasificación de imágenes posibilitan la transformación de imágenes crudas (fotografías aéreas, imágenes de Satélite, etc.) en datos temáticos o mapas que mostraran información con un significado evidente (Tobar, 2013). La clasificación de imágenes son un conjunto de métodos automáticos que se clasifican en dos técnicas:

Clasificación Supervisada: Mediante la clasificación supervisada se consigue una cartografía e inventario de las categorías de estudio. Las clasificaciones deben contar con las siguientes características: puntual, reproducibles por otros que no sea sensible a pequeños cambios en las condiciones de entrada, es decir que cubra todo el territorio de estudio(Chuvieco Emilio, 1990).

En una clasificación supervisada, la identidad y ubicación de algunos de los tipos de cobertura terrestre (por ejemplo, urbana, agrícola, o humedal) son conocidos a priori (es decir, antes) a través de una combinación de trabajo de campo, interpretación de fotografía aérea, análisis de mapas y experiencia personal. El analista intenta localizar sitios específicos en los datos de sensores remotos que representan ejemplos homogéneos de estos tipos conocidos de cobertura del suelo. Estas áreas comúnmente se les conoce como sitios de entrenamiento porque él se utilizan las características espectrales de estas áreas conocidas para entrenar el algoritmo de clasificación(Jensen, 2014).

Clasificación No Supervisada: Las clasificaciones no supervisadas guardan relación con el valor relativo al color, al tono o al clúster (grupo o agrupamientos), para identificar entidades. En este caso concreto, el analista deberá validar el resultado de la clasificación una vez esta haya sido llevada a cabo. En el caso anterior, el operador puede influir en gran medida en el proceso de clasificación mientras esta se está desarrollando, y controlando. En esta segunda técnica de clasificación, la influencia que puede ejercer el operador es prácticamente nula, más allá de seleccionar el algoritmo de clasificación que va a utilizarse(Tobar, 2013).

3.4.Análisis Multitemporal y Detección De Cambios De Cobertura

Los análisis multitemporales, son análisis espaciales para los cuales se comparan coberturas interpretadas en imágenes de una misma zona, pero en diferentes periodos. Permite

evaluar los cambios en las coberturas que han sido clasificadas, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre éste (Chuvienco Emilio, 1990).

Según Riaño (2002) es necesario que se tengan unas condiciones para un análisis multitemporal óptimo, como por ejemplo que el sensor proporcione una cobertura periódica, en las mismas bandas espectrales y bajo condiciones similares, como la altura del sensor, hora, ángulo de adquisición. La detección de cambios mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales se utiliza como una de las aplicaciones más eficientes de la percepción remota y la geomática, debido a que permite la identificación y cuantificación de los cambios de coberturas de una determinada zona de estudio, puntualmente donde se puede establecer que estos cambios se han ocasionado debido a la intervención humana.(Alexis Parrado Fierro & Freddy León Reyes MEd, 2016)

Al utilizar métodos de detección de cambios, mediante imágenes satelitales de diferentes periodos, se pueden identificar los diferentes cambios espaciales generados por eventos naturales o provocados por el hombre. La detección de cambios oportuna y precisa de las características de la cobertura de la tierra proporciona una base para evaluar las relaciones e interacciones entre los fenómenos humanos y naturales para una mejor gestión de los recursos. En sentido general, la detección de cambios aplica conjuntos de datos de diferente temporalidad para realizar análisis cuantitativos de los efectos de un determinado fenómeno ya sea ocasionado por el hombre o de tipo natural (Asokan & Anitha, 2019).

3.5. Estado Del Conocimiento

3.5.1. Contexto Internacional

En el contexto internacional se han realizado varios análisis multitemporales en donde se estudia el crecimiento urbano, el estudio realizado por Hasi Bagan, Yoshiki Yamagata, en el cual

estudiaron el crecimiento urbano en el área metropolitana de Tokio Japon, mediante el usos de imágenes Landsat de 1972, 1987, 2001 y 2011 y datos de población del censo de 1970 a 2010, en este estudio concluyeron que entre los años 1972 y 2011 la rápida expansión del área urbana fue acompañada por una gran reducción de la área agrícola alrededor de los nuevos asentamientos. Como resultado, la tasa de crecimiento urbano superó la población, entre 1972 y 2011 los resultados mostraron que la densidad urbana/construida disminuyó en el núcleo interior metropolitano a medida que el centro de la ciudad experimentó la despoblación, Los cambios dominantes que tuvieron lugar en el área de estudio durante este período fueron la expansión urbana en una amplia área a lo largo de los sistemas de transporte y grandes áreas de tierras de cultivo transformado en área urbana/construida, mientras que tales cambios fueron acompañados por los residentes que emigran a las áreas suburbanas periféricas(Bagan & Yamagata, 2012).

Paolo Villa realiza un estudio en el cual presenta una metodología basada en la relación de índices espectrales para el mapeo urbano y cambios en términos de expansión de la superficie, el estudio se aplicó a un conjunto de datos con el fin de mapear el crecimiento urbano de Milán, Italia durante 20 años entre 1984 -2003 con imágenes Landsat. El análisis de los resultados mostró la viabilidad del enfoque y la fiabilidad de los mapas de cambio urbano derivado, que alcanzó un valor de precisión general de hasta el 80%, mientras que la evaluación multiescala de los resultados reveló la escala de segmentación de 25 píxeles como la óptima para la detección de cambios urbanos utilizando Landsat datos sobre el área de estudio, La principal contribución de este trabajo es la propuesta de un marco metodológico para el mapeo urbano multitemporal y la evolución de áreas Datos Landsat(Villa, 2012).

En el año 2014 (Picone & Linares, 2014) se realizó un análisis titulado **Propuesta metodológica para la extracción y análisis de densidades urbanas mediante teledetección y**

SIG. Un caso de estudio de la ciudad de Tandil, Argentina, la cual fue realizada con imágenes Landsat 5, en los años 1989, 1996, 2003, 2011, en el cual utilizaron el método de clasificación supervisada, dentro de sus resultados destacan, las áreas con alta y media-alta densidad de edificaciones mostraron una tendencia creciente y a un ritmo sostenido en el tiempo. Por el otro, las áreas con media y baja densidad de edificaciones fueron inestables e irregulares entre los años considerados. Mientras que la clase con baja densidad de 1996-2003 para luego estabilizarse en el período siguiente; la clase con media densidad de edificaciones mostró una disminución de su representatividad durante el período 1996-2003 para luego recuperar su crecimiento (Picone & Linares, 2014).

En el año 2020 (Gálvez et al., 2020) el estudio titulado **Análisis multitemporal de la expansión urbana, del distrito de Ayacucho, mediante imágenes satelitales, en el período 1990-2020**. Para este estudio se utilizaron imágenes Landsat 5 y Landsat 8, aplicando la metodología de clasificación supervisada. Dentro de los resultados del cambio de coberturas en dicho periodo exponen, un cambio del área urbana del 7.06%, cambio de cobertura vegetal del 1.68%, para lo suelos sin cobertura un 2.02 % de cambio, y con un menor cambio los cuerpos de agua que presentan un 0.98 % de la superficie del área de estudio, al igual que detectaron pérdida en la cobertura del suelo de -2.40 % con una reducción de tasa de cambio anual negativa, por lo cual tiene una pérdida 2166.1016 ha, en los periodos 1990 – 2020. (Gálvez et al., 2020).

3.5.2. Contexto Nacional

En el ámbito nacional se han realizado múltiples estudios de análisis multitemporales donde se estudian diferentes cambios de coberturas o fenómenos como el crecimiento urbano, en el año 2020 se realizó el estudio titulado **Análisis Multitemporal De La Expansión Urbana De Acuerdo Con El Aumento De La Densidad Poblacional Del Municipio De Chía Para Los**

Años 1991, 2003 Y 2018, para este estudio utilizaron imágenes LANDSAT 5 y LANDSAT 8, se utilizó la metodología de clasificación supervisada. Dentro de los resultados se expone, que mediante la clasificación supervisada se obtuvo la cantidad de hectáreas para cada uso de suelo, presentando como se esperaba un aumento en la expansión urbana de un 42% entre los años 1991 y 2003 y un 17% entre los años 2003 y 2018. (Suárez, 2020).

En el año 2010 Cifuentes y Londoño, realizaron una investigación del crecimiento urbano de la ciudad de Manizales, desde el año 1854 hasta el año 2003, mediante el análisis multitemporal con mapas SIG con información asociada, lo que permite la generación de datos que pueden aprovecharse con métodos de cálculo adecuados. Dentro de los resultados confirman la interdependencia socio natural del crecimiento urbano, y la importancia que tienen además del incremento de la población, otras variables relacionadas con el medio ambiente y aspectos socioeconómicos (Cifuentes Ruiz & Londoño Linares, 2010).

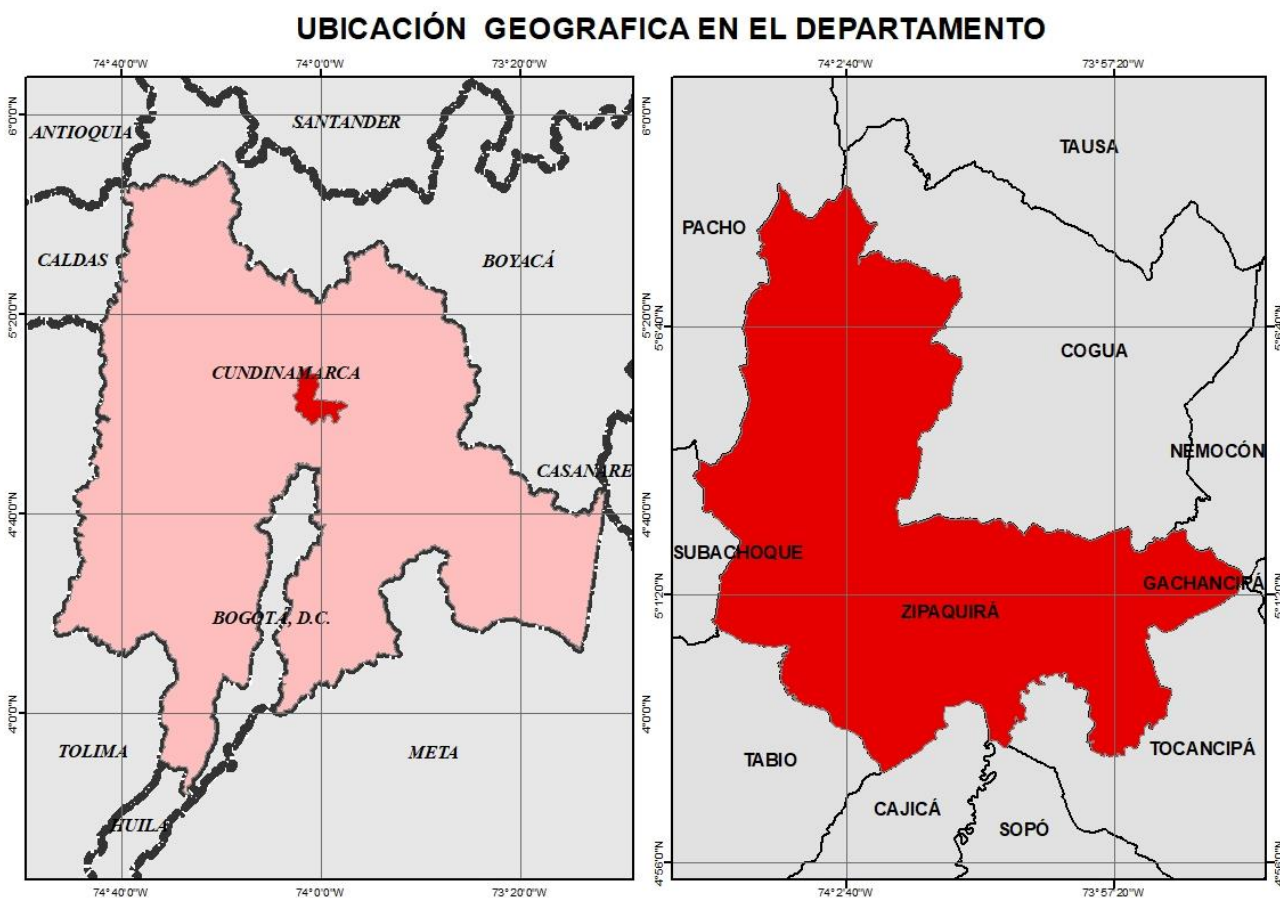
4. Metodología

4.1. Localización

El municipio de Zipaquirá se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca, localizado geográficamente en la latitud norte $5^{\circ} 01' 29''$ y longitud oeste $74^{\circ} 00' 05''$. Tiene una altura promedio de 2625 m s. n. m. y la temperatura promedio es de 14°C . Limita por el occidente con Subachoque y Pacho, por el oriente con Cogua, Nemocón y Tocancipá, por el norte con Pacho y Cogua y por el sur con Cajicá y Tabio (ver). El municipio ocupa una posición de centro subregional —igual que Facatativá— y ahora hace parte del sistema de asentamientos alrededor de Bogotá D.C. De éste hacen parte las conurbaciones con la capital, los municipios con carácter industrial y los centros urbanos menores de la periferia rural. Zipaquirá es un centro de acopio de productos y suministros y ofrece servicios complementarios a los municipios vecinos localizados en su área de influencia. (Niño Murcia, 2013)

El municipio de Zipaquirá está enmarcado por el occidente por altas montañas como la serranía de Ventalarga, el Pantano Redondo, el cerro del Zipa, el páramo del Guerrero y el cerro de El Calzón, lugares donde se concentran la actividad rural y el trabajo agrícola. Este relieve es inmediato al casco urbano, localizado en el pie de la montaña, mientras que, en el costado oriental, luego de la amplia sabana, es delimitado por un relieve bajo del que hacen parte el cerro de Tibitó, el cerro el Gone y el cerro el Santuario, en cuyas laderas confluye un sistema de vías regionales que comunican radialmente Zipaquirá con los municipios aledaños. (Niño Murcia, 2013)

Figura 1. Área de estudio



Fuente: DANE. Elaboración propia

4.2. Insumos

4.2.1. Imágenes Landsat

Se obtuvieron las imágenes de manera gratuita mediante la página <https://earthexplorer.usgs.gov/>, las imágenes descargadas corresponden Landsat 8, 7 y 5, los parámetros usados para la obtención de imágenes, en primer lugar se seleccionaron las imágenes que cubren la zona de estudio referente al municipio de Zipaquirá y un bajo porcentaje de nubosidad para obtener un mejor resultado de la información a analizar, se descargaron las imágenes para los periodos 1991, 2011, 2021. (Tabla 1).

Tabla 1. Datos de imágenes satelitales

SENSOR	IMAGEN	RESOLUCION	FECHA
LANDSAT 5	LT05_L1TP_008056_19911204_20200914_02_T1	MS- 30 m	1991-12-04
LANDSAT 7	LE07_L1TP_008056_20110202_20161210_01_T1	MS- 30 m	2011-02-02
LANDSAT 8	LC08_L1TP_008056_20210120_20210307_01_T1	MS – 30 m PAN – 15 m	2021-01-20

Elaboración propia

4.2.2. Software

Para realizar el procesamiento de las imágenes satelitales Landsat y posterior análisis de los datos, se utilizaron los siguientes Software:

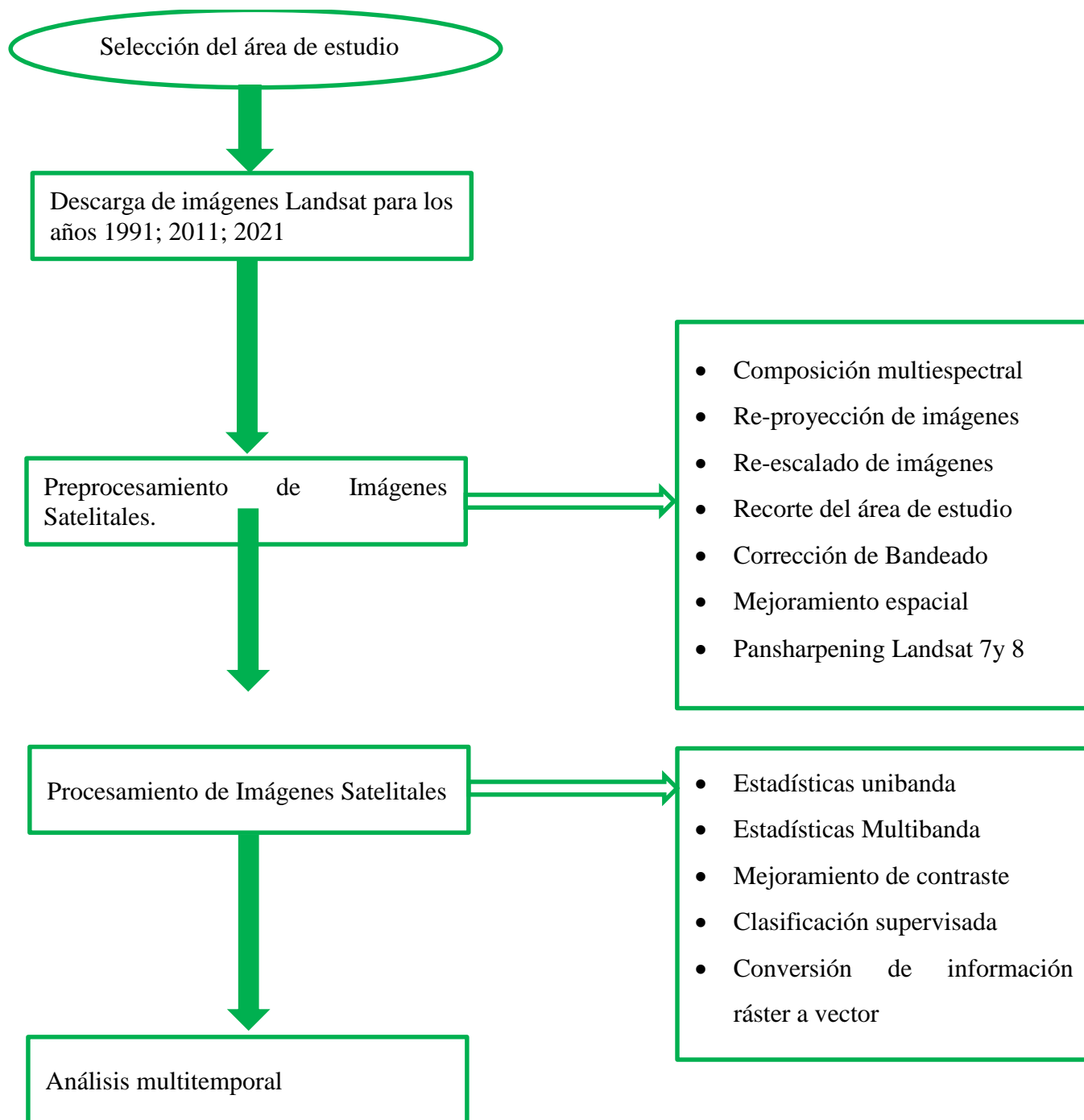
- ArcMap 10.8: Software GIS de ArcGIS Desktop, utilizado para la generación de mapas, visualización de formato ráster y vector, análisis de información vectorial.
- ERDAS Imagine 2014: Este software se utilizó para el procesamiento digital de las imágenes del satélite Landsat.
- QGIS: se utilizó para corregir el error de bandeo de la imagen Landsat

4.3. Procedimiento

En la **Figura 2** se presenta el esquema metodológico utilizado para el procesamiento digital de cada una de las imágenes Landsat. Se describe a continuación cada una de las etapas:

4.3.1. Selección del área de estudio

Para la ubicación geográfica del municipio de Zipaquirá, se utilizó como fuente cartográfica la información disponible en el geovisor del DANE (Departamento Nacional de Estadística) en el Link: <https://geoportal.dane.gov.co/servicios/descarga-y-metadatos/descarga-mgn-marco-geoestadistico-nacional/>, tomando los niveles geográficos Departamental y Municipal, del Marco Geoestadístico Nacional.

Figura 2. Esquema metodológico procesamiento digital de imágenes

Elaboración propia

4.3.2. Preprocesamiento de Imágenes Satelitales

Para realizar el alistamiento y preprocesamiento de las imágenes satelitales Landsat y con el fin de optimizar el procesamiento de las imágenes se realizaron los siguientes procedimientos para cada una de las imágenes de los años 1991, 2011 y 2021.

- **Composición multiespectral**

En el software ERDAS Imagine 2014 se realizó la composición multiespectral para cada una de las imágenes, mediante la herramienta Layer stack, compilando las bandas de la 1 a la 7.

- **Re-proyección de imágenes**

En el software ERDAS Imagine 2014 se verificó la proyección de la imagen con la herramienta Reproject disponible en el menú Ráster – Spatial, para la zona del área de estudio se utilizó la proyección UTM Zona 18 y se definió el tamaño de pixel de 15 m.

- **Re-escalado de imágenes**

Se realizó el re - escalamiento de cada una de las imágenes de satélite Landsat de 16 bits a 8 bits, con el fin de mantener el mismo nivel digital (ND), en las imágenes de estudio. Este proceso se realizó en el software ERDAS Imagine 2014 mediante la opción Rescale, disponible en el menú Raster – Radiometric.

- **Recorte del área de estudio**

A partir del polígono correspondiente al municipio de Zipaquirá tomado del Marco Geoestadístico Nacional del geoportal del DANE, se generó un polígono rectangular el cual abarcó toda el área del municipio o el área de estudio (AOI). Este proceso se realizó en el software ERDAS Imagine 2014, mediante la herramienta inquire box, donde se calculó el tamaño de corte de acuerdo al AOI, luego con la herramienta subset se realizó el recorte.

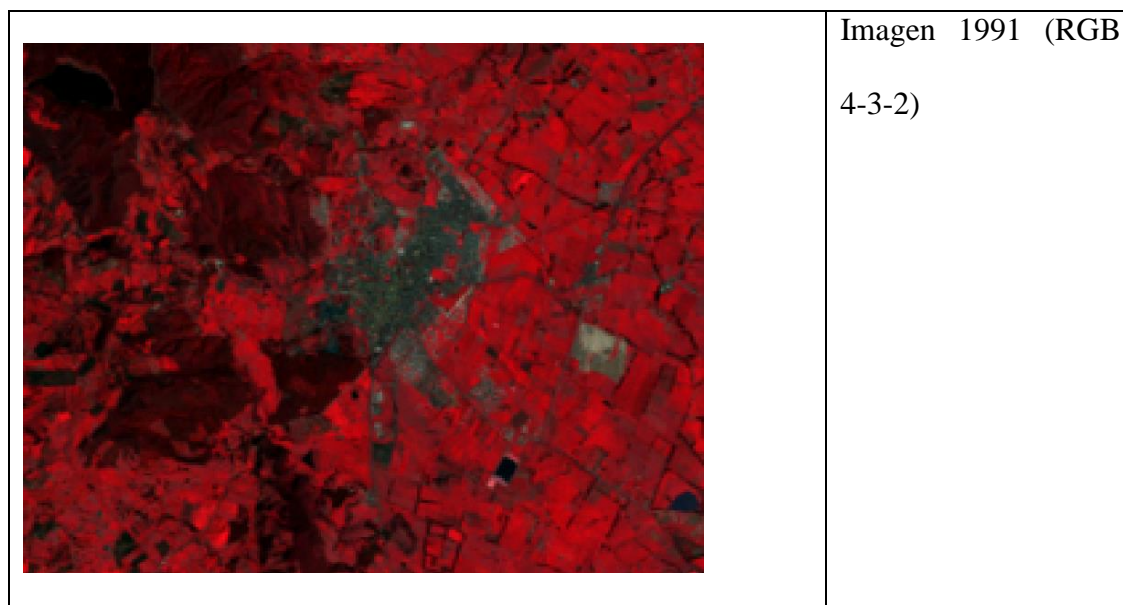
- **Corrección de Bandedo**

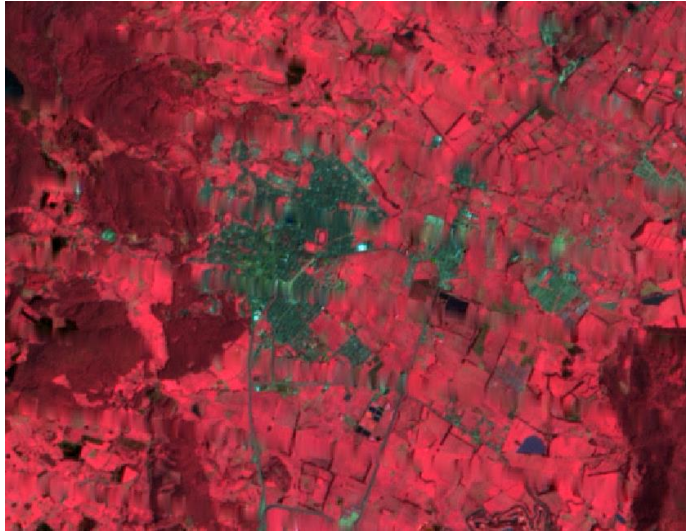

Se realizó la corrección de rebano a la Imagen Landsat 7 del año 2011, mediante el software QGIS, mediante la herramienta *rellenar sin datos*, el cual se encuentra en el módulo *Ráster/Análisis/Rellenar sin datos*.

- **Mejoramiento Resolución Espacial-Pansharpening Landsat 7 y 8**

Se realizó una mejora en la resolución espacial de las imágenes Landsat 7 y 8 multiespectrales, utilizando la imagen pancromática la cual tiene mayor resolución espacial de 15 metros, correspondiente a la Banda 8 la cual se encuentra dentro del archivo de descarga. Se realizó este proceso con el software ERDAS Imagine 2014, con la herramienta *Resolution Marge*, en la sección *Raster/Pan Sharpen/Resolution Marge*. Este proceso se realizó con el fin de obtener una imagen con mayor nitidez y mayor detalle. (**Figura 3**)

Figura 3. Imágenes Pre-procedadas



	<p>Imagen 2011 (RGB 4-3-2)</p>
	<p>Imagen 2021 (RGB 4-3-2)</p>

Elaboración propia

4.3.3. Procesamiento de Imágenes Satelitales

- **Estadísticas unibanda**

Las medidas de tendencia central como la desviación estándar y estadísticas se tomaron de los metadatos de cada una de las bandas en el software ERDAS Imagine 2014 (**Tabla 2**).

Tabla 2. Estadísticas Unibanda

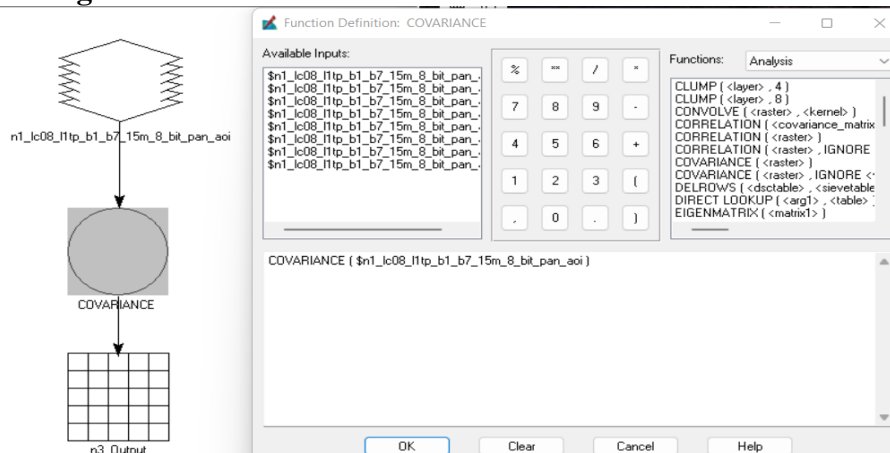
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Rango	0-173	0-171	7-162	2-173	15-189	14-151	13-167
Media	30.311	26.583	24.546	22.941	49.059	36.852	29.037

Mediana	27	23	21	19	47	35	26
Moda	26	22	20	17	40	32	22
Desviación estándar	13.96	13.649	13.45	13.362	13.847	11.643	10.793

Elaboración propia

Las matrices de varianza y covarianza (**Tabla 3**), se generaron con el software ERDAS Imagine 2014, con la herramienta Model Maker en el módulo *Toolbox/ Model Maker*, automatizando el proceso mediante un modelo (**Figura 4**).

Figura 4. Model Maker Matriz De Varianzas Y Covarianzas



Elaboración propia

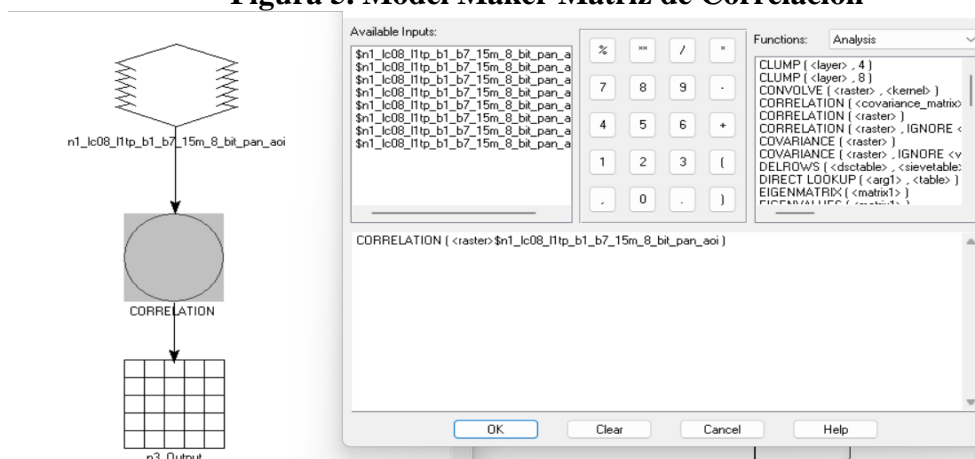
Tabla 3. Matriz De Varianzas Y Covarianzas

Bandas	1	2	3	4	5	6	7
1	194.79	190.15	171.69	182.68	110.56	120.15	126.32
2	190.15	186.21	168.65	179.83	111.37	120.99	125.82
3	171.69	168.65	154.94	165.47	111.41	117.49	118.42
4	182.68	179.83	165.47	178.49	115.00	129.98	130.78
5	110.56	111.37	111.41	115.00	191.72	115.24	88.47
6	120.15	120.99	117.49	129.98	115.24	135.54	120.44
7	126.32	125.82	118.42	130.78	88.47	120.44	116.46

Elaboración propia

De igual manera se generó la matriz de correlación en el software ERDAS Imagine 2014, con la herramienta Model Maker (**Figura 5**).

Figura 5. Model Maker Matriz de Correlación



Elaboración propia

La matriz de correlación permite observar que banda de la imagen tiene una mayor dispersión de datos o de varianza, la correlación entre las bandas es una medida de dependencia entre las bandas, y otra a mayor correlación más dependencia entre una banda, a menor correlación mas variedad de datos en la composición de las imágenes (Tabla 4).

Tabla 4. Matriz de Correlación

Bandas	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.99843167	0.98826039	0.97972322	0.57208173	0.73942043	0.83867933
2	0.99843167	1	0.99288006	0.98639381	0.58943797	0.76156773	0.85441878
3	0.98826039	0.99288006	1	0.99500764	0.64641827	0.81070674	0.88157916
4	0.97972322	0.98639381	0.99500764	1	0.6216792	0.83566427	0.90710634
5	0.57208173	0.58943797	0.64641827	0.6216792	1	0.71487852	0.59210452
6	0.73942043	0.76156773	0.81070674	0.83566427	0.71487852	1	0.95861031
7	0.83867933	0.85441878	0.88157916	0.90710634	0.59210452	0.95861031	1

Elaboración propia

- **Estadísticas Multibanda**

Con las matrices anteriores y estadísticas de tendencia central, se realizó el cálculo del Factor del Índice Optimo (OIF), este indicador selecciona la combinación a color óptima entre tres bandas de las 35 posibles combinaciones de la imagen satelital. El planteamiento matemático esta dado por la siguiente fórmula matemática:

$$OIF = \frac{\sum_{K=1}^3 S_K}{\sum_{j=1}^3 Abs(r_j)}$$

En donde:

S_k = Desviación estándar de la banda k

$R(j)$ = Valor de la matriz de correlación

Abs = Valor absoluto.

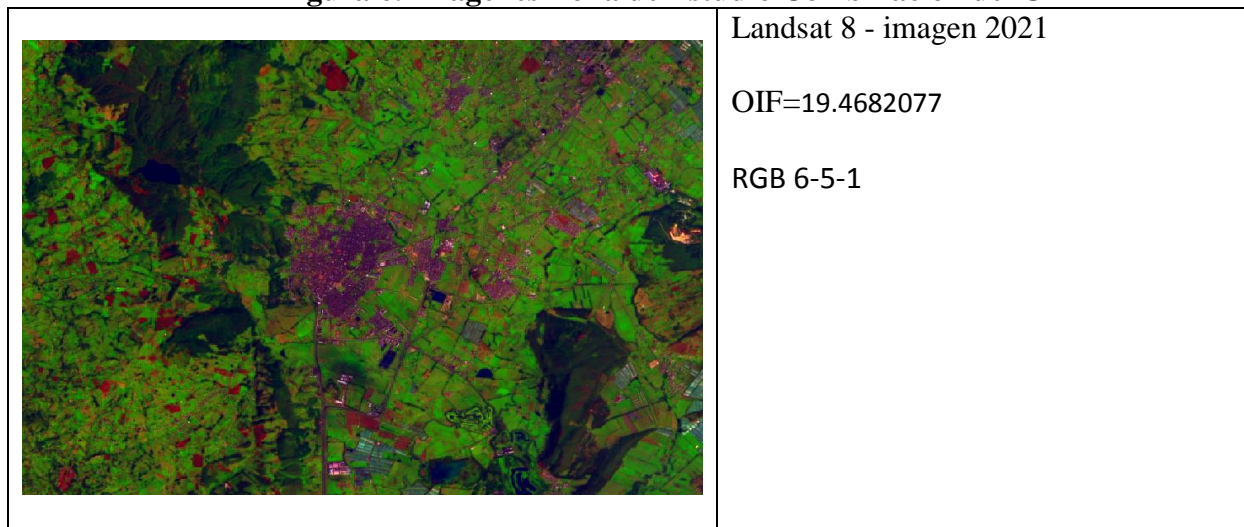
Para la imagen Landsat 8 se determinó que la combinación con mayor OIF es: 5,6,1. Esta combinación identifica claramente las zonas urbanas de las zonas con pasto y cultivos.


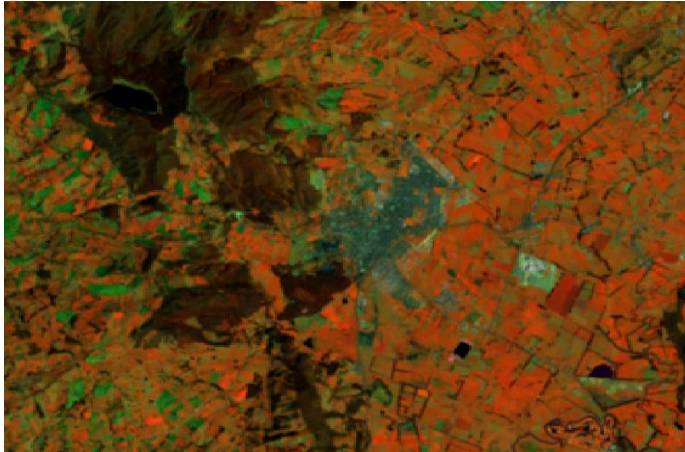
Tabla 5. Cálculo de OIF Landsat

RGB	Suma desviaciones estándar	Suma coef correlación	OIF
1,5,6	39.45	2.02638068	19.4682077
1,5,7	38.6	2.00286558	19.2723867
2,5,6	39.139	2.06588422	18.9453986
1,4,5	41.169	2.17348415	18.941477
2,5,7	38.289	2.03596127	18.8063499
1,3,5	41.257	2.20676039	18.6957316
2,4,5	40.858	2.19751098	18.5928536
2,3,5	40.946	2.2287363	18.371846
3,5,7	38.09	2.12010195	17.9661171

Elaboración propia

Figura 6. Imágenes Zona de Estudio Combinación del OIF



	<p>Landsat 7 - imagen 2011</p> <p>OIF= 44.28</p> <p>RGB 3-4-7</p>
	<p>Landsat 5 - imagen 1991</p> <p>OIF= 36.068</p> <p>RGB 4-5-3</p>

Elaboración propia

- **Clasificación supervisada**

La clasificación supervisada se realizó mediante el software ERDAS Imagine 2014, para determinar las áreas urbanas y diferenciarlas de las demás coberturas presentes en la zona de estudio se determinaron 5 clases de cobertura (1: Tejido Urbano, 2: Red Vial, 3: Cultivos, 4: Pastos, 5: Cuerpos de Agua). El proceso de clasificación supervisada se puede resumir en las siguientes etapas

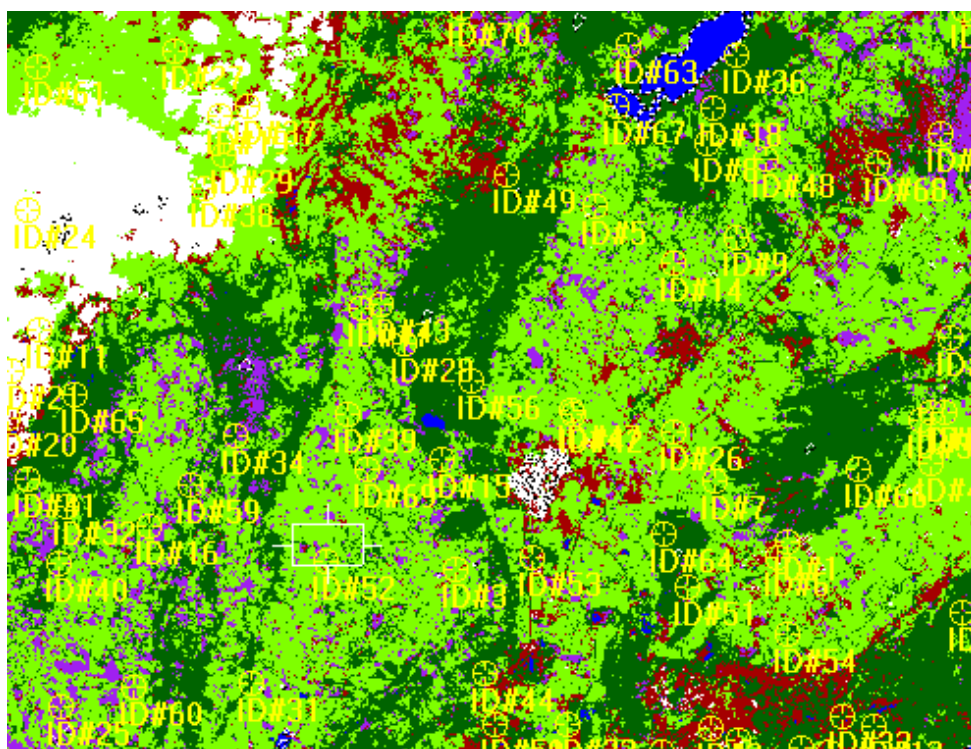
- Análisis Visual y estadístico de la imagen y de sus bandas.
- Elaboración de mapa de leyenda, sección y delimitación de áreas pilotos.
- Generación y evaluación de sus estadísticas y reajustes

- Elección y aplicación del algoritmo de clasificación.
- Reajustes y clasificación de nuevo.
- Evaluación de los resultados y su presentación.

Para realizar este proceso se seleccionó la opción de Signature Editor del menú Supervised, luego se asignaron polígonos y delimitación de áreas pilotos o puntos de entrenamiento de las coberturas establecidas para el análisis. El proceso se realizó sobre las imágenes con mayor OIF, para la imagen Landsat 7, se realizó con la combinación RGB 6-5-1.

Se realizó la evaluación de la clasificación supervisada mediante la herramienta Accuracy Assessment del Software Erdas Imagine 2014, se utilizaron 70 puntos de control para cada imagen (Figura 7), con un reporte de exactitud superior al 80% (**Figura 8**).

Figura 7. Puntos de Control Clasificación de Imagen Landsat 8. Fuente propia



Elaboración propia

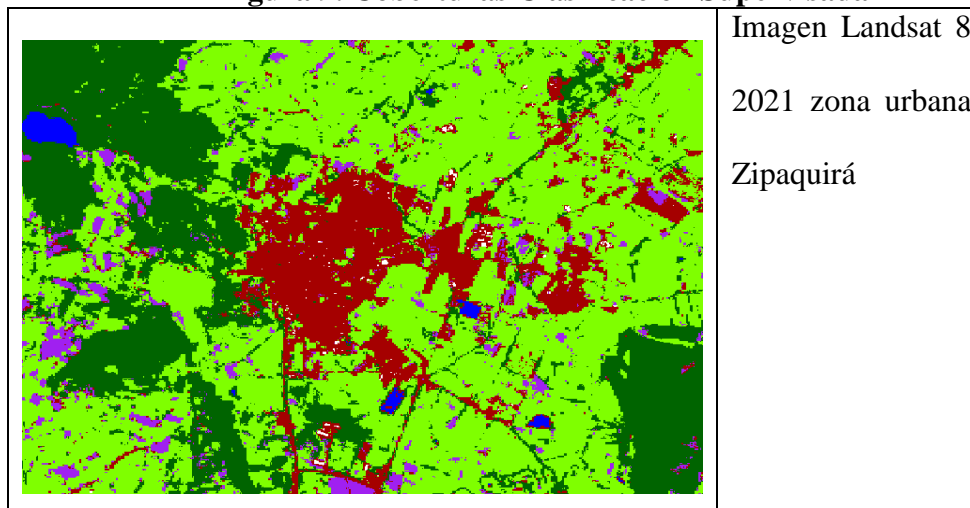
Figura 8. Reporte de Clasificación Imagen Landsat 8

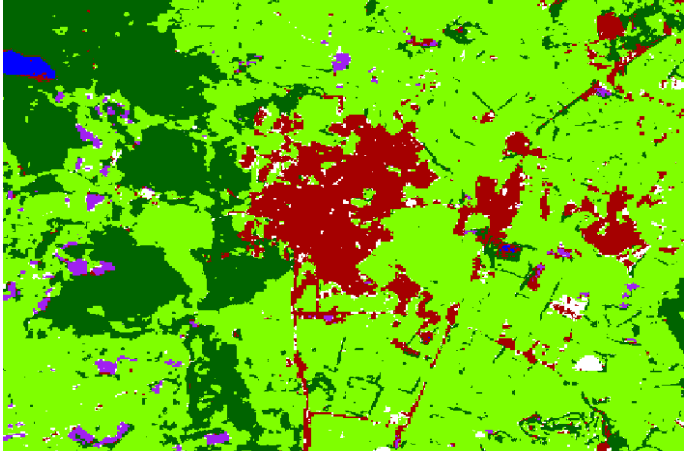
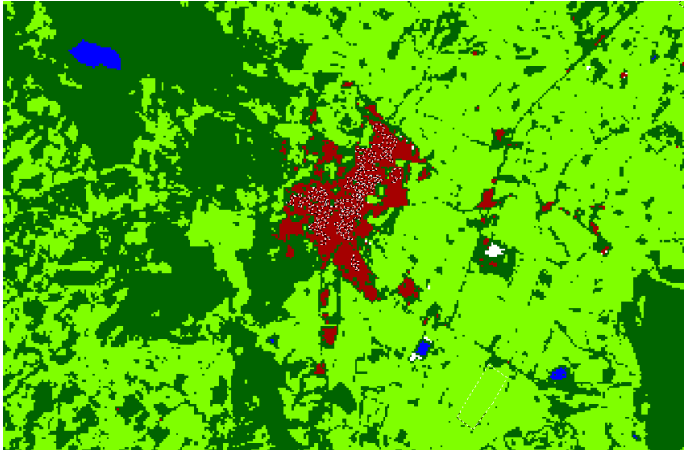
Unclassified	0	0	0	---	---
Tejido Urbano	3	6	3	100.00%	50.00%
	0	0	0	---	---
	0	0	0	---	---
	0	0	0	---	---
Vegetacion	24	22	21	87.50%	95.45%
	0	0	0	---	---
Cultivos	5	5	4	80.00%	80.00%
Pastos	32	31	30	93.75%	96.77%
	0	0	0	---	---
Cuerpos de Agua	1	1	1	100.00%	100.00%
Nubes	5	5	5	100.00%	100.00%
Totals	70	70	64		
Overall Classification Accuracy = 91.43%					
----- End of Accuracy Totals -----					
KAPPA (K ²) STATISTICS					
Overall Kappa Statistics = 0.8732					
Conditional Kappa for each Category:					
Class Name	Kappa				
Unclassified	0.0000				
Tejido Urbano	0.4776				
	0.0000				
	0.0000				
	0.0000				
Vegetacion	0.9308				
	0.0000				
	0.0000				
Cultivos	0.7846				
Pastos	0.9406				
	0.0000				
Cuerpos de Agua	1.0000				
Nubes	1.0000				

Elaboración propia

Se identificaron las coberturas presentes en las imágenes para cada uno de los diferentes periodos de tiempo, en color marrón se identifica la zona urbana del municipio de Zipaquirá (**Figura 9**).

Figura 9. Coberturas Clasificación Supervisada



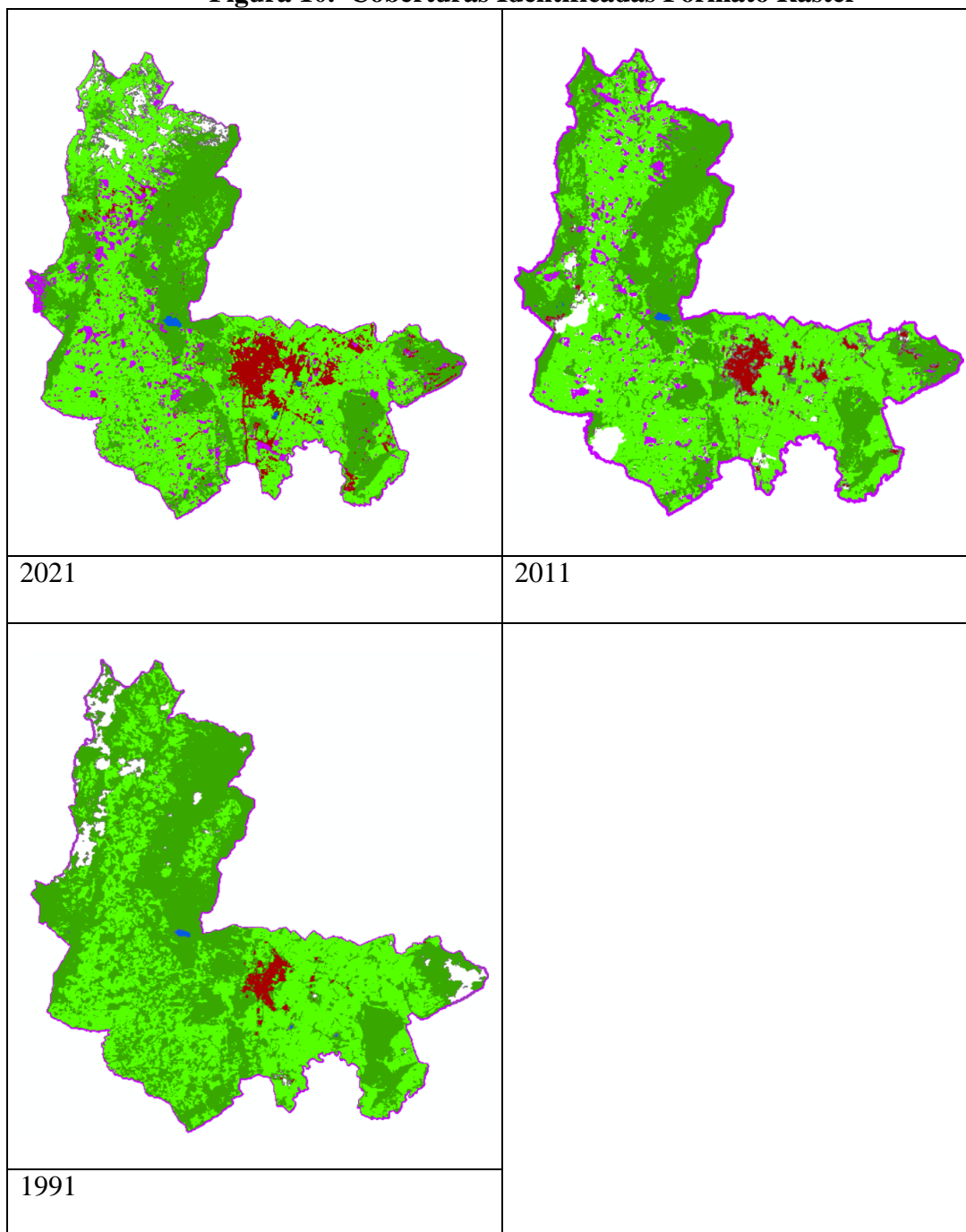
	<p>Imagen Landsat 7 2011 zona urbana Zipaquirá</p>
	<p>Imagen Landsat 5 1991 zona urbana Zipaquirá</p>

Elaboración propia

Luego de obtener el resultado de la clasificación, en el software ArcGis con la herramienta Raster to polygon, se convirtió la información ráster a vector, se realizó con la herramienta Clip el corte del área de estudio, y se determinaron las áreas de las diferentes coberturas para cada una de las imágenes.

- **Análisis Multitemporal**

Con la información de las áreas de las coberturas se procedió a comparar el área urbana para cada uno de los periodos definidos (**Figura 10**).

Figura 10. Coberturas Identificadas Formato Raster

Elaboración propia

5. Resultados y discusión

- **Análisis Multitemporal**

De acuerdo al estudio realizado se logró determinar el área urbana del municipio de Zipaquirá, para los periodos de 1991, 2011 y 2021, se generó un polígono para cada año y se calculó el área correspondiente.

Tabla 6. Área urbana municipio de Zipaquirá

Año	Área Urbana(ha)	Crecimiento (ha)	Porcentaje de cambio
2021	803.020	230.485	40
2011	572.535	335.179	141
1991	237.356		100

Elaboración propia

Para el periodo de 1991 al 2011, la cabecera del municipio de Zipaquirá paso de un área de 237.356 ha a un área de 572.535 ha para el año 2011, lo que equivale a un aumento de 335.179 ha del área urbana, este crecimiento se dio de manera generalizada alrededor de la cabecera.

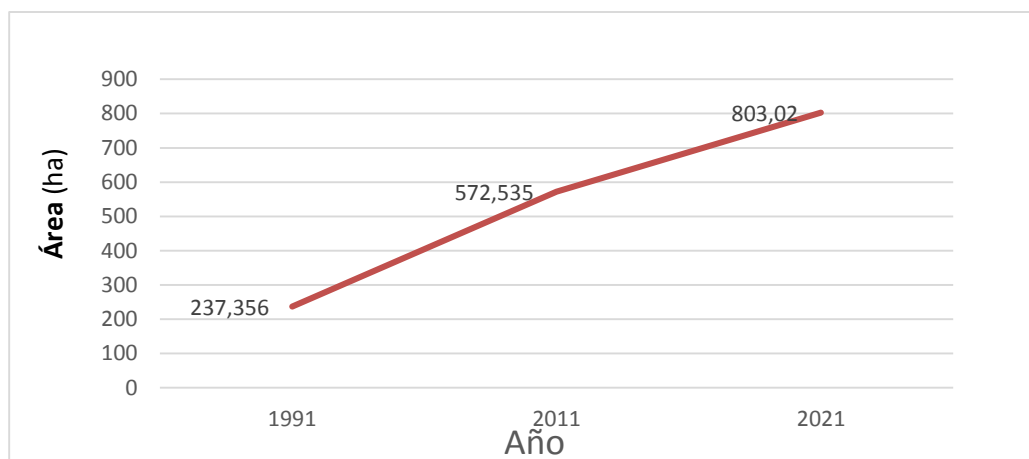
Para el periodo de 2011 al 2021, la cabecera del municipio paso de un área de terreno de 572.535 ha en el año 2011 a un área de 803.020 ha para el año 2021, con un aumento de 230.485 ha, el crecimiento en este periodo se dio hacia el norte, occidente y sur de la cabecera municipal.

En el periodo de 1991 a 2011 se dio un aumento del área urbana de 141%, siendo el aumento más relevante del análisis, en el periodo de 2011 al 2021 se dio un aumento de 40.25%, el cual sigue siendo bastante destacado (**Figura 11**).

En la Figura 12 se encuentra el mapa de comparación de los polígonos obtenidos de la zona urbana para cada año, en rojo se encuentra el polígono correspondiente a 1991, en verde el polígono correspondiente a 2011, y azul el correspondiente a 2021.

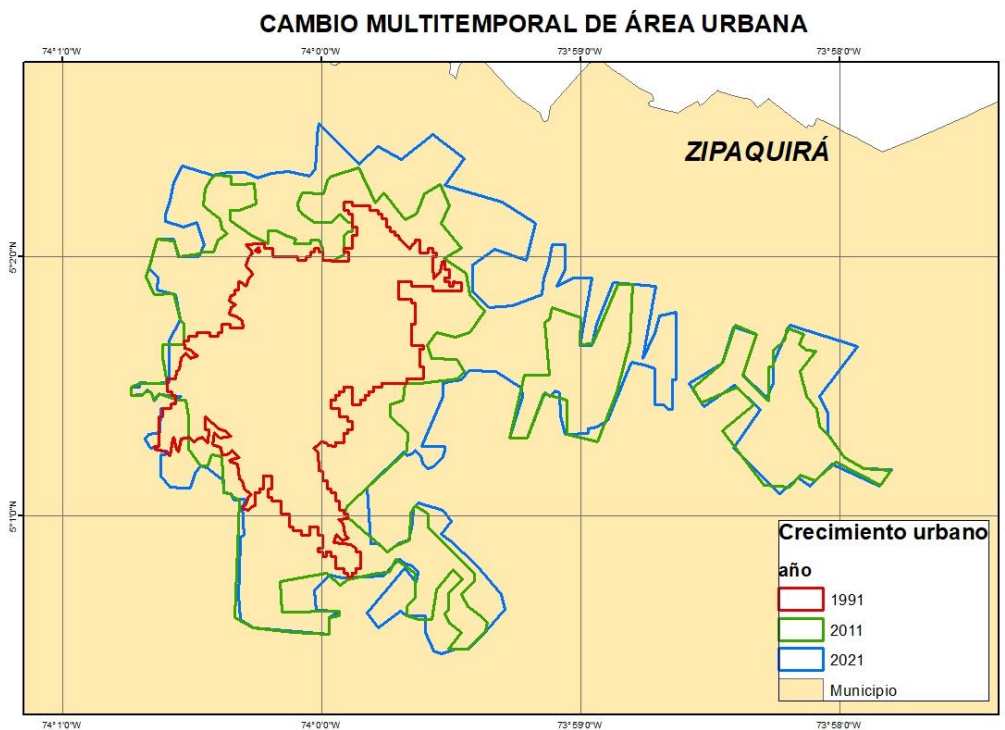
Se puede observar que la cabecera municipal experimento una mayor expansión urbana en el periodo de 1991 a 2011, aumentando más del doble como se observa en la figura 12 el crecimiento en este periodo fue hacia el norte oriente y sur de la cabecera.

Figura 11. Crecimiento Urbano Municipio de Zipaquirá



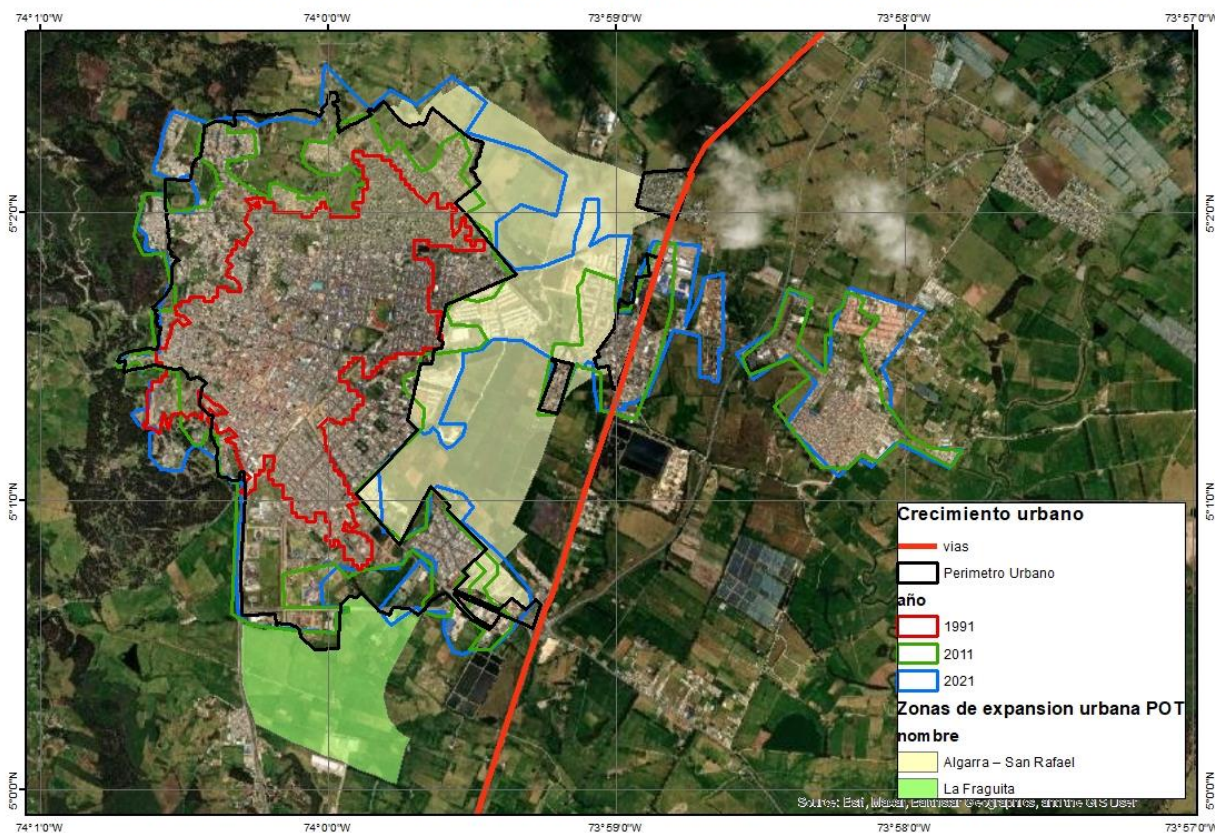
Elaboración propia

Figura 12. Cambio Multitemporal Elaboración propia



El acuerdo No 12 de 2013 del concejo municipal de Zipaquirá, por el cual se modifica excepcionalmente el plan de ordenamiento territorial del municipio de Zipaquirá, se tienen dos áreas de expansión urbana, 1. Algarra – San Rafael y 2. La Fraguilla, las cuales respecto a los polígonos de expansión generados para cada imagen aún no está totalmente desarrollado, en cuanto al perímetro urbano respecto a los polígonos generados dentro del análisis multitemporal, las áreas urbanas correspondientes al 2011 y 2021 son mucho más grandes y ocupan parte de las zonas de expansión urbana establecidas en el POT de Zipaquirá. También es posible observar que el crecimiento se da al oriente de la cabecera municipal hacia la vía que conduce de Zipaquirá a Ubaté.

Figura 13. Diferencia Análisis Multitemporal Y Perímetro Urbano
DIFERENCIAS ANALISIS MULTITEMPORAL Y PERIMETRO URBANO



Fuente: POT Municipio de Zipaquirá. Elaboración propia.

- **Tasa anual de cambio de coberturas**

Para realizar el análisis del crecimiento urbano en los diferentes periodos, se tomó como referencia el área urbana encontrada para cada periodo de año mediante el procesamiento digital de las imágenes satelitales (**Tabla 7**). Se utilizó la tasa de cambio de la superficie propuesta por el IDEAM en su metodología, cuya fórmula matemática corresponde

$$TCDC_{ijy1-2} = \left(\frac{\left(\frac{(SCT_{ijt2} - SCT_{ijt1})}{SCT_{ijt1}} \right)}{(t2 - t1)} \right) * 100$$

En donde:

$TCDC_{ijy1-2}$: Es el promedio anual de variación en la superficie que ocupa la cubierta de la tierra i, en la unidad espacial de referencia j entre dos instantes de tiempo t, 1 y 2.

SCT_{ijt2} y SCT_{ijt1} : Son las superficies que ocupa la cubierta de la tierra i, en la unidad espacial de referencia j en los instantes de tiempo inicial 1 y final 2, respectivamente.

$t2$ y $t1$: Son los años correspondientes al instante de tiempo inicial 1 y final 2, respectivamente.

Tabla 7. Tasa anual de cambio de la superficie Municipio de Zipaquirá

	Periodo analizado	
	1991-2011	2011-2021
tasa de cambio Zipaquirá (%)	7.06	4.03

Elaboración propia

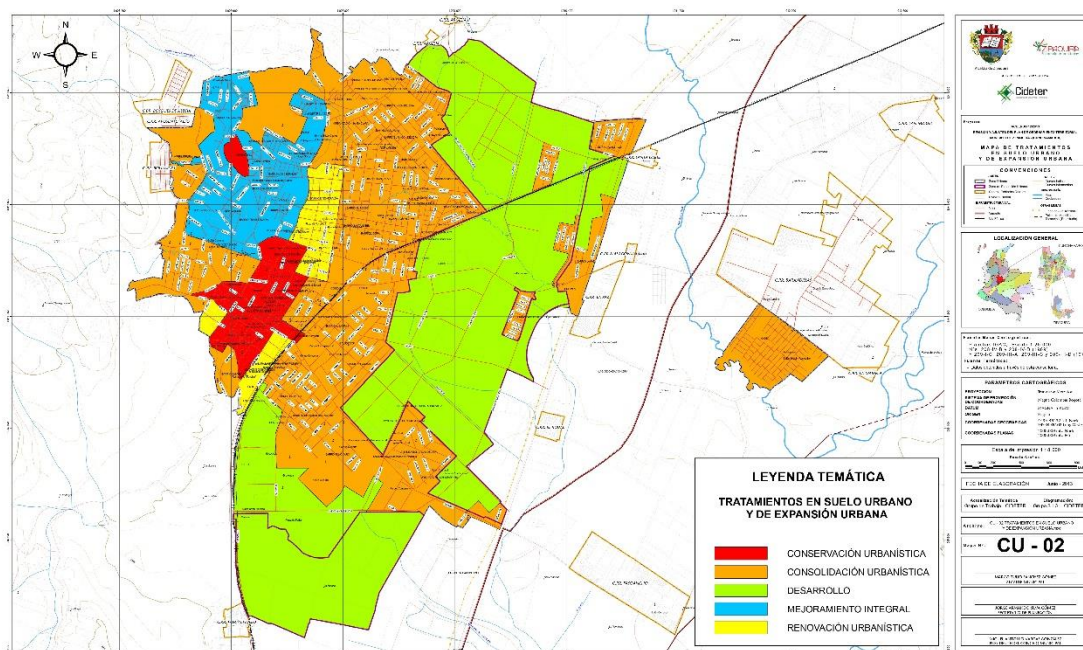
La tasa anual de cambio de cobertura para el Municipio de Zipaquirá en el periodo de 1991 a 2011 es de 7.06% siendo esta la mas alta indicando que durante este periodo de tiempo se dio una mayor expansión urbana en el territorio.

El periodo de 2011 al 2021 se tiene una tasa anual de cambio de cobertura de 4.03% constituye una menor proporción de expansión urbana, pero se tiene en cuenta que esta comprende años, la mitad de la tasa anual comprendida entre 1991 y 2011.

El crecimiento urbano en el periodo de 1991 al 2011 corresponde a un mayor desarrollo urbano, generado posiblemente por factores como la cercanía a Bogotá que genera conurbación y urbanización de los municipios de la sabana.

El acuerdo No 12 de 2013 del concejo municipal de Zipaquirá, por el cual se modifica excepcionalmente el plan de ordenamiento territorial del municipio de Zipaquirá, en el cual se fijan dos áreas de expansión urbana las cuales a la fecha se encuentran varios desarrollos urbanísticos, lo cual infiere que el municipio de Zipaquirá seguirá una expansión urbana hacia la parte oriental de la cabecera municipal, y en donde además goza de una topografía plana (**Figura 14**).

Figura 14. Mapa de tratamiento de suelos y Expansión urbana



Fuente: Acuerdo 12/2013 Revisión Y Ajustes Del Plan De Ordenamiento Territorial Municipio De Zipaquirá - (Cundinamarca)

- **Crecimiento poblacional**

Se reviso la situación demográfica del municipio de Zipaquirá, de acuerdo a la información registrada en el Censo Nacional de Población y Vivienda – CNPV 2018 (DANE, 2022), con la cual se determinó el crecimiento poblacional a nivel urbano en los años objetó de estudio, para el periodo comprendido de 1991 al 2011 se presento un crecimiento poblacional del 26%, para el periodo de 2011 al 2022 se presentó un crecimiento poblacional de 70%.**(Tabla 8)**

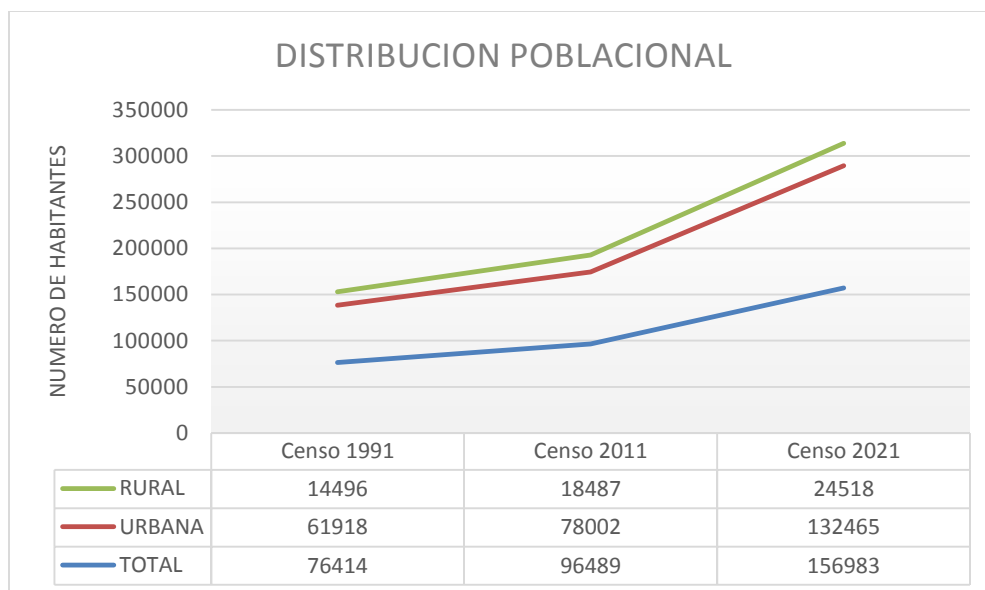
Tabla 8. Distribución poblacional según censos

CENSO POBLACIONAL	POBLACION		
	TOTAL	URBANA	RURAL
Censo 1991	76414	61918	14496
Censo 2011	96489	78002	18487
Censo 2021	156983	132465	24518

Fuente: Censo Nacional de Población y Vivienda – CNPV 2018 (DANE, 2022).
Elaboración propia

Para el total de la población se presentó en crecimiento población en el periodo de 1991 al 2011 de 26% y en el periodo de 2011 al 2021 de 62%. El área rural ha tenido un crecimiento poblacional en el periodo de 1991 al 2011 del 27% y en el periodo de 2011 al 2021 un crecimiento de 32%.

De acuerdo a la información del DANE(2022), se puede analizar que durante todos los periodos de tiempo analizados el municipio a tenido un aumento del número de habitantes, teniendo el mayor aumento en el periodo de 2011 al 2021 que para el área urbana se presentó un crecimiento poblacional de 70% que equivale a un aumento de 54463 habitantes para este periodo, por otra parte el periodo 1991 al 2011 de 20 años presento un crecimiento poblacional en el área urbana de 26%, que equivale a 16084 habitantes, el mayor crecimiento poblacional se da en el periodo de 2011 al 2021 que es un periodo de 10 años. **(Figura 15)**

Figura 15. Variación distribución poblacional

Fuente: Censo Nacional de Población y Vivienda – CNPV 2018 (DANE, 2022).
Elaboración propia

Realizando una comparación entre la densidad poblacional y la expansión urbana del municipio de Zipaquirá, se puede inferir que, aunque el porcentaje de cambio de coberturas en el periodo de 2011 al 2022 es menor y el área de crecimiento urbana aunque crece no es un crecimiento amplio, es en este periodo de tiempo donde a partir de los datos de DANE (2022), se puede inferir que el municipio de Zipaquirá a ha venido experimentando un desarrollo urbanístico en altura es decir edificios y torres de apartamentos, lo que indica una mayor densidad de habitantes en una menor porción del territorio. La densidad de población urbana por kilómetro cuadrado determina que para el año de 1991 la densidad de población era de 7710 habitantes por kilómetro cuadrado, para el año 2011 era de 13624 habitantes por kilómetro cuadrado, para el año 2022 fue de 55808.6 13624 habitantes por kilómetro cuadrado. (**Tabla 9**)

Tabla 9. Densidad poblacional urbana por kilómetro

AÑO	AREA (ha)	AREA (km)	POBLACION URBANA	DENSIDAD DE POBLACION (hab/km²)
1991	803.02	8.0302	61918	7710.6
2011	572.535	5.72535	78002	13624.0
2022	237.356	2.37356	132465	55808.6

Fuente: Censo Nacional de Población y Vivienda – CNPV 2018 (DANE, 2022).
Elaboración propia

De acuerdo a lo anterior se puede inferir que el municipio de Zipaquirá experimentó una mayor expansión urbana en el periodo de 1991 al 2011 pero no se dio un crecimiento poblacional demasiado alto, por el contrario, en el periodo de 2011 al 2022 el crecimiento del área de expansión es menor comparado con el periodo anterior, pero en este periodo de tiempo ha aumentado considerablemente el número de habitantes en el municipio, y cabe resaltar que las zonas de expansión urbana dispuestas en el acuerdo No 12 de 2013 del concejo municipal de Zipaquirá, por el cual se modifica excepcionalmente el plan de ordenamiento territorial del municipio de Zipaquirá, se encuentran en desarrollo varios proyectos urbanísticos.

6. Conclusiones

- Con la metodología de análisis multitemporal de la zona urbana del municipio de Zipaquirá, en los años de 1991, 2011, 2021, se pudo determinar que el municipio ha tenido una amplia expansión urbana desde la década de los 90, este crecimiento se ha dado hacia el norte, oriente y sur de la cabecera municipal, con muchos más desarrollos urbanísticos al oriente en lo que comprende la vía que conduce de Zipaquirá a Ubaté.
- Se determino mediante el análisis multitemporal un aumento del área urbana para el municipio de Zipaquirá en el periodo de 1991 al 2021 de 565.664 hectáreas.
- La dinámica de crecimiento y expansión urbana del municipio de Zipaquirá en el periodo de 1991 al 2021 hacia el oriente de la cabecera indica que las vías principales como la vía que conduce de Zipaquirá a Bogotá han jalonado este crecimiento, lo cual no sucede al occidente en donde no se observan vías principales.
- Los análisis multitemporales a través de imágenes de satélite, para este estudio imágenes Landsat, son una herramienta a bajo costo, que permite analizar el cambio de coberturas y la dinámica de estas a través del tiempo, al igual permite la zonificación y generación de áreas de dichas coberturas con cierto grado de confiabilidad.

7. Bibliografía

- Alexis Parrado Fierro, E., & Freddy León Reyes MEd, I. (2016). *IMÁGENES SENTINEL 2 MULTITEMPORAL ANALYSIS FOR THE DETECTION OF CHANGES IN THE MACARENA NATIONAL NATURAL PARK-META IN THE PERIODS 2016 AND 2020, USING SENTINEL 2 IMAGES UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA DICIEMBRE DE 2021 BOGOTÁ-COLOMBIA.*
- Bagan, H., & Yamagata, Y. (2012). Landsat analysis of urban growth: How Tokyo became the world's largest megacity during the last 40years. *Remote Sensing of Environment*, 127. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.011>
- Chuvieco Emilio. (1990). *Fundamentos de Teledeteccion.* <https://www.scribd.com/doc/312214229/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO-pdf>
- 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*, 13(1).
- Gálvez, O., Julio, J., Benites, A., & Franklin, J. (2020). Análisis multitemporal de la expansión urbana, del distrito de Ayacucho, mediante imágenes satelitales, en el período 1990 - 2020. *Repositorio Institucional - UC.* <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/73287>
- Jensen, J. R. J. R. (2014). Introductory Digital Image Processing Processing. In *Prentice Hall.*
- Labrador, M., Evora, J., & Arbelo, M. (2012). Satelites de Teledeteccion para la Gestion del Territorio. In *Journal of Experimental Psychology: General* (Vol. 136, Issue 1).

LAMPREA AVELLANEDA FERDY ANTONIO. (2017). *ZONIFICACIÓN DE LAS COBERTURAS DE LA TIERRA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG PARA LA REVISIÓN Y AJUSTE DEL P.O.T EN EL MARCO DEL CRECIMIENTO URBANO Y LA CONURBACIÓN NORTE: CASO MUNICIPIO DE ZIPAQUIRÁ* [CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN INFORMACIÓN GEOGRÁFICA].
http://es.wikipedia.org/wiki/Sabana_de_Bogot%C3%A1

Landsat Satellite Missions | U.S. Geological Survey. (n.d.). Retrieved December 27, 2022, from
<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>

Mather, P., & Tso, B. (2016). Classification methods for remotely sensed data, second edition. In
Classification Methods for Remotely Sensed Data, Second Edition.

MSc., Ing. R. P. T., Trigozo, Ing. J. R., Bach., & Morales, N. F. B. (2013). Manual de ArcGIS 10
 Nivel Intermedio. *Software.*

Niño Murcia, C. (2013). *Historia y patrimonio de la ciudad de Zipaquirá y su región circundante.*

Picone, N., & Linares, S. (2014). Propuesta metodológica para la extracción y análisis de densidades urbanas mediante teledetección y SIG. Caso de estudio: ciudad de Tandil, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 23(2), 77–96.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652014000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Randall B, S. (2012). Introduction to Remote Sensing of Environment (RSE). *TNTmips.*

Riaño, M. (2002). Consideraciones y métodos para la detección de cambios empleando imágenes de satélite en el municipio de Paipa. *Colombia Forestal*, 7(15).

SECRETARÍA DE PLANEACIÓN DEPARTAMENTAL DIRECCIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO, A. Y. E. (2020). *Caracterización general del*

departamento: Las dimensiones de Cundinamarca Documento de trabajo Marzo de 2020
LAS DIMENSIONES DE CUNDINAMARCA Contenido.

Suárez, O. J. (2020). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA EXPANSIÓN URBANA DE ACUERDO CON EL AUMENTO DE LA DENSIDAD POBLACIONAL DEL MUNICIPIO DE CHÍA PARA LOS.*

Tobar, M. F. M. (2013). *Guia Practica: Clasificación De Imagenes Satelitales. In Software.*

USGS. (2015). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, 8(June).*

Villa, P. (2012). *Mapping urban growth using Soil and Vegetation Index and Landsat data: The Milan (Italy) city area case study. Landscape and Urban Planning, 107(3).*
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.06.014>