

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA TRANSFORMACIÓN DEL PAISAJE EN  
ÁREAS PERIURBANAS DEL NORTE DE BOGOTÁ D.C. PARA EL PERIODO 1956 –  
2021**

**José Manuel Mayorga Guzmán**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
Facultad del medio ambiente y recursos naturales  
Maestría en manejo uso y conservación del bosque**

**Director: Jair Mora Gamboa**

**Bogotá D.C., mayo de 2022**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
1. MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA .....	9
2. MÉTODOS .....	16
2.1. Área de estudio .....	16
2.2. Análisis de transformación de las coberturas de la cuenca hidrográfica para el periodo 1950-2021	19
2.3. Análisis de tipo de cambio según transformación de las coberturas para los tiempo analizados	25
2.4. Análisis de conectividad ecológica .....	29
3. RESULTADOS.....	34
3.1. Transformación de las coberturas en los tiempos 1956 – 1977 – 1998 – 2021 .....	34
3.2. Dinámica de cambio territorial periodo 1956 - 2021 .....	38
3.3. Análisis de componentes principales acp relacionado con las coberturas en los cuatro tiempos analizados.....	45
3.4. Análisis de métricas parche y clase (patch y class).....	47
4. DISCUSIÓN .....	55
5. CONCLUSIONES.....	60
6. RECOMENDACIONES .....	61
AGRADECIMIENTOS .....	62
REFERENCIAS.....	62
ANEXOS.....	70

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Componentes y elementos de la Estructura Ecológica Principal – EEP Presente en el norte de bogotá d.c. delimitados por la cuenca hidrográfica del río Torca.	17
<b>Tabla 2.</b> Material cartográfico base (aerofotografías, ortofotomosaicos e imágenes de satélite) para el análisis espacial multitemporal y de conectividad ecológica estructural de la cuenca río torca para el periodo 1956 – 2021.	20
<b>Tabla 3.</b> Métricas de paisaje calculadas a partir de Fragstats.4.2.	31
<b>Tabla 4.</b> Análisis multitemporal de transformación del territorio: coberturas de la tierra determinadas para los tiempos analizados.	37
<b>Tabla 5.</b> Transformación general del territorio: áreas con y sin registro de cambio para los periodos de tiempo analizados entre 1956 y 2021.	38
<b>Tabla 6.</b> Transformación del territorio: dinámica de tipos de cambios según periodos de tiempo analizados.	40
<b>Tabla 7.</b> Variaciones multitemporales de coberturas de la tierra nivel 2 clc para los periodos de tiempo analizados.	42

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Ubicación área de estudio, territorio periurbano norte de Bogotá D.C. Límites Cuenca Hidrográfica Torca.	16
<b>Figura 2.</b> Modelo Digital De Elevación de la cuenca hidrográfica Torca.	18
<b>Figura 3.</b> Porcentaje de áreas de los elementos de la Estructura Ecológica Principal EEP dentro de la cuenca hidrográfica Torca.	18
<b>Figura 4.</b> Ubicación de áreas de los elementos de la Estructura Ecológica Principal EEP dentro de la cuenca hidrográfica Torca.	19
<b>Figura 5.</b> Procedimiento metodológico realizado para el análisis de transformación del territorio y análisis de conectividad ecológica estructural.	20
<b>Figura 6.</b> Material cartográfico base (Aerofotografías, Ortofotomosaicos E Imágenes De Satélite) para el análisis espacial multitemporal y de conectividad ecológica estructural de la cuenca río Torca para el periodo 1956 – 2021.	21
<b>Figura 7.</b> Leyenda nacional de coberturas de la tierra adaptado para Colombia. Ideam, 2010.	24
<b>Figura 8.</b> Clasificación de unidades de coberturas de acuerdo a lineamientos técnicos para el proceso de alindamiento de los corredores ecológicos de ronda y análisis de la EEP. Fuente: Ser-Sda, 2015.	25
<b>Figura 9.</b> Matriz de descriptores métricas de paisaje.	30
<b>Figura 10.</b> Matriz de contraste.	30
<b>Figura 11.</b> Coberturas de la tierra nivel 4 de la leyenda Corine Land Cover CLC para los tiempos analizados años: 1956-1977-1998-2021.	36
<b>Figura 12.</b> Tiempos Años 1956-1977-1998-2021 porcentaje de coberturas por periodos de tiempo analizados.	37
<b>Figura 13.</b> Cambio general de coberturas de la tierra por periodos de tiempo entre los años 1956 – 2021.	38
<b>Figura 14.</b> Porcentaje de cambio general de cobertura por periodos de tiempo analizados.	39
<b>Figura 15.</b> Transformación del territorio según relación de coberturas de la tierra, por periodos de tiempo entre los años 1956 – 2021.	41
<b>Figura 16.</b> Transformación Del territorio: dinámica de tipos de cambios según periodos de tiempo analizados.	41
<b>Figura 17.</b> Comportamiento de tendencia de coberturas nivel CLC (Bosques Y Áreas Seminaurales; Áreas Húmedas; Superficies De Agua) identificadas para la cuenca torca identificadas en el análisis multitemporal.	43
<b>Figura 18.</b> Comportamiento de tendencia de coberturas nivel CLC (Territorios Artificializados; Territorios Agrícolas) Identificadas para la cuenca torca identificadas en el análisis multitemporal.	44
<b>Figura 19.</b> Esquema general de línea de tiempo hitos históricos de gestión territorial en el área de estudio.	45
<b>Figura 20.</b> Matriz De componente, gráfico de componente.	46
<b>Figura 21.</b> Matriz De componente, gráfico de componente.	46
<b>Figura 22.</b> Comportamiento de los índices de diversidad de shannon y simpson para los tiempos analizados.	49

<b>Figura 23.</b> Conectividad espacial de coberturas con atributos ecológicos naturales (bosques, humedales, cuerpos de agua, herbazales y arbustales), coberturas agropecuarias (mosaicos con espacios naturales, pastos limpios, cultivos, pastos enmalezados); zonas urbanizadas (tejidos urbanos continuos y discontinuos, zonas industriales y comerciales, vías y redes comunicación).....	50
<b>Figura 24.</b> Conectividad de coberturas con atributos ecológicos actuales y aproximación de corredor de conectividad potencial integrando sistema hídrico, suelos de protección de la EEP y otras figuras de manejo y conservación. ....	50
<b>Figura 25.</b> Sistema hídrico superficial dentro del área de estudio .....	51
<b>Figura 26.</b> Áreas de importancia para la conservación y protección del recurso hídrico SDA 2018-2021.....	52
<b>Figura 27.</b> Propuesta Corredor De Conectividad Ecológica Propuesto Por Sdp, Chisacá, Remolina, 2007. Fuente: Sdp, Chisacá Remolina 2007. ....	52
<b>Figura 28.</b> Esquema general de principales corredores conectores propuestos para la Reserva Forestal Regional Del Norte Usando Las Aves Como Grupo Indicador. En Verde Corredores Para Aves Terrestres De Bosque, En Azul Claro Para Aves Acuáticas. Mapa Combinado De La Conectividad Potencial Para Las Especies Consideradas En El Estudio RFTVDH.....	53
<b>Figura 29.</b> Proyección propuesta conectividad estructural potencial integrando sistema hídrico, suelos de protección de la EEP y otras figuras de manejo con relación al corredor propuesto por SDP, Chisacá, Remolina 2007 .....	54
<b>Figura 30.</b> Proyección Propuesta Conectividad Estructural Potencial Con Relación A Coberturas Urbanizadas, Agropecuarias Y Naturales Y Seminaurales.....	54
<b>Figura 31.</b> Conectividad estructural propuesta de áreas con continuidad, proximidad espacial y con atributos ecológicos actuales. aproximación integrando sistema hídrico, suelos de protección de la EEP, otras figuras de manejo, coberturas naturales, seminaurales y agrícolas con atributos ecológicos. ....	55

## Anexos

<b>Anexo 1.</b> Análisis multitemporal de transformación del territorio: coberturas de la tierra nivel 4 CLC determinadas para los tiempos analizadas.....	70
<b>Anexo 2.</b> Análisis Multitemporal: ganancias y pérdidas totales coberturas límites temporales analizados (1956-2021). ....	71
<b>Anexo 3.</b> Matrices de correlación acp, pearson análisis multitemporal coberturas nivel 2 CLC. ....	72
<b>Anexo 4.</b> Matriz de comunalidades.....	73
<b>Anexo 5.</b> Gráfico de sedimentación para determinación de componentes. ....	73
<b>Anexo 6.</b> Línea de tiempo de hitos históricos relacionados con la transformación del territorio y la conservación de ecosistemas y suelos de protección en la cuenca hidrográfica Torca.....	74
<b>Anexo 7.</b> Resultados métricas para el nivel de clase para los tiempos analizados.....	75

## ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA TRANSFORMACIÓN DEL PAISAJE EN ÁREAS PERIURBANAS DEL NORTE DE BOGOTÁ D.C. PARA EL PERIODO 1956 – 2021

### RESUMEN

El conocimiento de la historia en la transformación del territorio es un referente fundamental para la gestión y conservación de ecosistemas ubicados en áreas periurbanas de grandes ciudades. El estudio se localizó en el norte de Bogotá D.C. territorio con presencia de reservas forestales y un complejo sistema hídrico conformado por humedales, ríos, quebradas y canales que se encuentran en constante tensión con procesos de expansión urbana. Se analizó cuantitativamente el cambio de coberturas y su efecto en la pérdida de coberturas naturales y ecosistemas en el tiempo. Se analizó la transformación del territorio periurbano del norte de Bogotá determinando la transformación espacial de las coberturas y ecosistemas para cuatro tiempos correspondientes con los años 1956, 1977, 1998 y 2021. Se realizó una clasificación visual y supervisada de coberturas incluyendo fotointerpretación para cada tiempo aplicando los cuatro niveles iniciales de la leyenda incluida en la metodología Corine Land Cover (CLC). Se realizó análisis multitemporal espacial de coberturas determinando cuantitativamente el cambio de las coberturas en el tiempo. Adicionalmente, se evaluó la conectividad estructural y patrones espaciales de estructura del paisaje del territorio, mediante el cálculo de métricas de paisaje para identificar áreas potenciales con atributos ecológicos para mejorar la conectividad estructural. Entre el periodo **1956 y 2021** se calcularon los porcentajes de cambio de área de las coberturas con respecto al área total y de cada cobertura en el tiempo, así como, el incremento o decrecimiento mediante el cálculo de la tasa de variación relativa de las coberturas que permitió determinar que las coberturas de **Bosques** presentaron un aumento del **1,3%** y un incremento de **6,64%** representando actualmente un **20,89%** del territorio; **aguas continentales** superficies de agua de lagos, vallados, reservorios, canales aumentaron el **1,02%** con tasa de incremento del **139%**; las coberturas de áreas húmedas de ecosistemas de humedal disminuyeron el **7,42%** representando un decrecimiento del **-485%**; coberturas de áreas agrícolas heterogéneas disminuyeron el **6,23%** con tasa de decrecimiento del **-34%** mientras los Pastos redujeron su área en un **22,65%** con tasa de decrecimiento del **-71%**, constituyéndose en magnitud de área las coberturas de territorios agrícolas en las más transformadas por las dinámicas de cambio; zonas urbanizadas aumentaron el **22,11%** de área total con tasa de incremento del **1483,9%**. Actualmente, el **68,28%** del área de estudio son coberturas naturales, seminaturales y agrícolas con continuidad espacial, atributos ecológicos, potencial de conectividad estructural, adicionalmente el **49,72%** del área de análisis tiene diferentes categorías de protección de ecosistemas incluidos dentro de la Estructura Ecológica Principal (EEP) de Bogotá D.C.; Estas áreas constituyen espacialmente áreas continuas y con proximidad estratégicas para gestionar y mejorar la conectividad estructural, conservación, manejo adaptativo y restauración ecológica.

**Palabras clave:** cobertura, transformación territorial, conectividad estructural, ecología del paisaje, conectividad de paisaje.

### MULTITEMPORAL ANALYSIS OF LANDSCAPES CHANGES BETWEEN 1956 – 2021 IN PERI-URBAN AREAS FROM THE NORTH OF BOGOTÁ CITY.

#### SUMMARY

Getting to know the historical changes in the territory are a good reference for the management and conservation of ecosystems located in peri-urban areas of big cities. This study was located in the north of Bogotá D.C. which is a territory with forest reserves and a complex water system made up of wetlands, rivers, streams and canals that are in constant urban expansion tension. The change in cover and its effect on the loss of natural covers and ecosystems over time were analyzed quantitatively. The transformation of the peri-urban territory of the north of Bogotá was analyzed, determining the spatial transformation of the covers and ecosystems for four times corresponding to years 1956, 1977, 1998 and 2021. A visual and supervised classification of covers was carried out, including photo-interpretation for each year applying the four initial levels based on the methodology done by Corine Land Cover (CLC). Spatial multi-temporal analysis of coverage was performed, quantitatively determining the change in coverage over time. Additionally, the calculation of landscape metrics was carried out to identify potential areas to improve structural connectivity. Between the period **1956 and 2021**, percentages and the increase or decrease were assessed by calculating the relative variation rate that allowed determining that the **forest** coverage presented an increase of **1.3%** and an increase of **6.64%**, currently representing a **20.89%** of the territory; **water surfaces of lakes**, fences, reservoirs, canals increased by **1.02%** and the rate increased by **139%**; the coverage of humid areas of wetland ecosystems decreased by **7.42%**, representing a decrease of **-485%**; coverage of agricultural territories decreased by **6.23%** with a rate decrease of **-34%**, meanwhile the grasses reduced its area by **22.65%** with a decreased rate of **-71%** being in magnitude of area one of the most transformed coverage by the dynamics of change; urbanized areas increased by **22.11** of a total area with an increased rate of **1483.9%**. Currently, **68.28%** of the study area is natural, semi-natural and agricultural coverage with spatial continuity, ecological attributes, structural connectivity potential, additionally **49.72%** of the analysis area has different categories of ecosystem protection included within the Main Ecological Structure (EEP) of Bogotá DC; These areas spatially constitute continuous areas with strategic proximity to manage and improve structural connectivity, conservation, adaptive management and ecological restoration.

**Keywords:** vegetation coverage, landscape changes, landscape ecology, structural connectivity, landscape connectivity

## INTRODUCCIÓN

El incremento de la población en ciudades capitales genera expansión urbana, aumenta los tensionantes ambientales, y promueve la transformación histórica del territorio y los cambios de uso del suelo que reducen las áreas rurales y los ecosistemas ubicados en los bordes periurbanos; a la vez, abre posibilidades y propone retos para la gestión y restauración ecológica de áreas con atributos ecológicos que permitan su conservación y aumento de servicios ecosistémicos (CEPAL, 2015). Las ciudades ocupan el 4% de la superficie terrestre mientras su huella ecológica impacta los ecosistemas a escalas regionales y globales (Goddard M. et al. 2010). En los últimos 70 años, los países de América Latina y el Caribe experimentaron un aumento de las áreas de expansión urbana hacia las periferias de las ciudades y un acelerado crecimiento demográfico, pasando de 166.3 millones de habitantes en el año 1950, 476.6 en 1995 y 625 en 2015 (ONU, 1997; CEPAL, 2015). La Organización de Naciones Unidas ONU proyecta que el incremento de la población de la región, será aproximadamente de 680 millones de habitantes en el año 2025 y 779 en 2050 generando mayor densificación y expansión de las urbes, requerimientos adicionales de recursos naturales, deterioro de áreas naturales ubicadas en bordes urbanos y aumento de presiones sobre el valor y uso del suelo en las ciudades y sus áreas perirurbanas (ONU, 1997; CEPAL, 2015) (Jean-François y Dangond Gibsone, 2020). Este aumento temporal y exponencial de la expansión urbana y los cambios de uso del suelo se ha concentrado principalmente en los grandes centros urbanos, de tal magnitud, que ciudades como Río de Janeiro, Sao Paulo, México D.F., Caracas y Bogotá D.C., se convirtieron en algunas de las ciudades más pobladas del mundo (CEPAL, 2015).

Esta tendencia de crecimiento de la urbanización en América Latina se caracteriza por centralizar las actividades económicas y concentrar la población en un número reducido de ciudades; como ejemplo en Ciudad de Panamá se concentra el 70% de la población urbana del país, San José de Costa Rica el 55%, Santiago de Chile el 41%, Lima 40%; Buenos Aires el 39%, y Bogotá concentra cerca del 27% de la población urbana de Colombia. La urbanización en las capitales colombianas, especialmente en las regiones Andina y Costa Caribe, ha generado ocupación de los territorios periurbanos que tradicionalmente tenían condiciones rurales modificando la tradición de uso de la tierra y reduciendo las áreas naturales; además, ha promovido que la concentración de la población urbana duplique a la que habitaba las ciudades hace 60 años; mientras en 1950 la población de estas regiones equivalía al 41,4%, se proyecta que en el año 2030 el 83,2% de la población de estas zonas serán habitantes urbanos Miró (1998) y CEPAL (2015). En las áreas periurbanas el aumento escalado de los disturbios generados por la urbanización, agudiza la transformación y pérdida de los ecosistemas y de su conectividad ecológica; concentra usos agropecuarios e industriales aumentando la intensidad, frecuencia y magnitud de los impactos ambientales (Marull et al. 2006). Este fenómeno ha generado la fragmentación de los ecosistemas naturales, configurando paisajes mixtos con diversos y numerosos tipos de matrices y parches (o componentes disfuncionales), dispersos, con limitantes y pérdida de conectividad y funcionalidad ecológica (Marull y Mallarach, 2002). Los sistemas ecológicos periurbanos integran complejas interacciones de factores socioeconómicos, culturales, institucionales y ecológicos, donde las áreas urbanas tienen la fuerza para transformar sustancialmente los ecosistemas a través de procesos acelerados de fragmentación ecológica y disminución de flujos de biodiversidad (Alberti, 2005) (Kowarik, 2011) (Saura et al. 2019).

Estudios de transformación multitemporal de áreas periurbanas de ciudades latinoamericanas como México D.F., Sao Paulo, Rio de Janeiro, Caracas, Santiago de Chile, han demostrado que producto de los procesos de expansión agropecuaria y de urbanización acelerada y no planificada, estas áreas se transforman en bordes urbanizados, zonas agroindustriales, comerciales e industriales, caracterizándolas por la segregación espacial, marginalidad, informalidad e ilegalidad (Andreatta, 2009) (De Lisio, 2009) (Santos et al. 2015). Además, son áreas con una alta presión de las poblaciones y los sectores económicos sobre los recursos naturales y ecosistemas localizados en las franjas de transición entre la ruralidad y la ciudad; promoviendo en el tiempo acelerados cambios en el uso del suelo y los paisajes de transición urbana rural. Este crecimiento urbano se realiza generalmente sin considerar la historia de uso de la tierra, la interacción que existe entre el territorio, la dinámica del paisaje, el medio urbano y los ecosistemas (Sorensen et al., 1998). Estudios de análisis multitemporal de la transformación del territorio en periferias urbanas de ciudades capitales latinoamericanas como Ciudad de México D.F., Rio de Janeiro, Caracas, Santiago de Chile y asiáticas como el caso de Dhaka, han demostrado que en los últimos cinco décadas existe una tendencia de incremento continuo exponencial de la urbanización generando fragmentación de las zonas rurales, pérdida de conectividad ecológica, reducción de usos agropecuarios y de áreas de ecosistemas (Andreatta, 2009) (De Lisio, 2009) (Ahmed B. et al. 2012) (Santos et al. 2015). Adicionalmente, existe una tendencia en áreas periféricas de transición urbano rural de ciudades como Lima Perú, Buenos Aires Argentina, Sao Paulo Brasil, México D.F. y Bogotá D.C., en donde la gestión de la conservación de los ecosistemas y del ambiente ha sido reactiva, pero no ha profundizado en los procesos de cambio histórico multitemporal, ni en los procesos productivos que han originado la contaminación, fragmentación

de los ecosistemas colindantes y deterioro ambiental del territorio periurbano (OPS, 1998) (CEPAL1999). Adicionalmente, los estudios y análisis de las dinámicas de desarrollo urbano y sus impactos en el cambio histórico de coberturas y los ecosistemas ha estado centrado en las ciudades europeas y norteamericanas, existiendo un vacío de conocimiento de estas dinámicas de cambio multitemporal en las periferias de las ciudades latinoamericanas (Kowarik 2011).

A pesar de la alta importancia de los ecosistemas periurbanos del norte de Bogotá D.C. representada en sistemas naturales de humedales, reservas forestales, sistema hídrico quebradas y ríos, que necesitan estrategias de conservación; la información existente ha centrado su análisis en aspectos descriptivos, evidenciando una necesidad de conocer el efecto de la transformación histórica del territorio sobre la conectividad estructural de las áreas protegidas y ecosistemas existentes, que permita reducir los vacíos de conocimiento en la valoración de aspectos relacionados con el cambio de uso del suelo y su influencia en la estructura y funcionalidad ecosistémica. **Estos elementos de análisis son fundamentales para orientar procesos de conservación de ecosistemas y coberturas con atributos ecológicos y generar armonización e integración entre la conservación de áreas naturales periurbanas y las definidas como bordes urbanos de la ciudad.**

Bogotá D.C. es el resultado de un rápido crecimiento que la ha convertido en una de las ciudades más pobladas de América Latina; la ciudad ha sufrido cambios históricos en su forma, expansión urbana y transformaciones de las coberturas y usos del suelo generando pérdida de áreas naturales de sus periferias (Botero y Suarez, 2010) (Jean-François y Dangond Gibsone, 2020). En las áreas periurbanas de grandes centros poblados y comerciales como Bogotá D.C. los procesos de deterioro ambiental derivados de la transformación del paisaje y fragmentación de elementos naturales del territorio es más crítico y la gestión de la conservación de los ecosistemas es más compleja, debido a la carencia de análisis histórico de los factores ambientales, políticos y socioeconómicos que han determinado las tendencias de cambio territorial y sus impactos en los ecosistemas; además, por la dificultad existente en países latinoamericanos para implementar con efectividad estrategias de conservación de la naturaleza (CEPAL, CIDIAT, CNA, INRENA, 1999). Desde la década de 1950 Bogotá D.C. ha tenido un crecimiento espacial y poblacional acelerado producto de procesos de migración del campo a la ciudad, valorización de la tierra; estas condiciones propiciaron procesos de densificación urbana y expansión producto del desarrollo de núcleos de bienes y servicios, originando mayor presión sobre los suelos urbanos y sus periferias, concentración de la tierra, cambios de uso y especulación de valor del suelo (Botero y Suarez, 2010) (Jean-François y Dangond Gibsone, 2020).

Producto de esta dinámica, en los bordes y periferias urbanas de transición urbano rural, ha aumentado la fragmentación de coberturas y hábitats; la reducción de áreas de ecosistemas y hábitats terrestres y acuáticos existentes; y el deterioro de elementos naturales del paisaje afectando la conservación de servicios ecosistémicos, la conectividad ecológica, su continuidad espacial y los flujos ecológicos en el territorio. Uno de los efectos ecológicos más relevantes de la transformación del territorio es la disminución de la conectividad ecológica en el tiempo, entendida esta como la integración y vínculo de dinámicas entre dos áreas o fragmentos de coberturas similares o diferenciables, con funciones de continuidad hídrica o de biodiversidad que sean capaces de intercambiar flujos de energía ecológicos manteniendo su integridad (Irastroza, 2010) (Baudry y Burel, 2003).

Por lo tanto, los objetivos de esta investigación de transformación del paisaje en áreas periurbanas, fue identificar y analizar los principales cambios de cobertura y uso del suelo y los factores que incidieron en la transformación del territorio periurbano del norte de Bogotá D.C. durante el periodo de tiempo 1956 – 2021; y, evaluar la conectividad ecológica estructural del territorio norte de Bogotá D.C. delimitado por la cuenca hidrográfica Torca. A partir de los resultados de la investigación se identificaron cambios de la conectividad ecológica; áreas actuales con coberturas potenciales para el mejoramiento de la conectividad estructural y la conservación y restauración de ecosistemas; se proyectó espacialmente una propuesta de corredor de conectividad multidireccional y multifuncional para el contexto periurbano del norte de Bogotá, determinado a partir de las coberturas actuales con atributos ecológicos, potenciales de conservación, sistema hídrico y suelos de protección que generan conectividad ecológica, y, que actúan como una red ecológica de espacios (parches, corredores, estribones) interconectados que permiten continuidad espacial y flujo de biodiversidad.

## 1. MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA

- Paisaje y ecología del paisaje

Como sistema, el territorio y el paisaje está constituido por componentes que operan como un todo complejo que permiten analizar relaciones diferenciables con otros sistemas (Bertalanffy, 1968). Hermelin (2015) Hettner (1892) y Acosta (1846) precisan que los paisajes deben su apariencia a los procesos naturales evolutivos, que posteriormente han sido complementados y transformados por los seres humanos, quienes han modificado los elementos físico-bióticos y las estructuras artificiales para formar “entidades inseparables”. Desde una perspectiva histórica el paisaje puede ser visto como la manifestación territorial del “*metabolismo que cualquier sociedad mantiene con los sistemas naturales*” que la sustentan (Tello, 1999 y 2004; Krausmann, 2001). Etter (1991) acoge estos argumentos y los integra en sus postulados que describen el paisaje como un supraorganismo producto de relaciones complejas de los niveles inferiores de organización de los organismos, los aspectos geosféricos, climáticos y antrópicos. Etter, coincide en el establecimiento de la relación entre dos enfoques necesarios para la interpretación y gestión del paisaje; el primero es el enfoque histórico evolutivo que integra la coevolución de los geocomponentes en el espacio y en el tiempo, es decir, ningún elemento evoluciona aislado del resto de “atributos” (Forman, 1995). Un segundo enfoque, aborda lo estructural genético, que implica reconocer ‘las relaciones entre los distintos componentes de la estructura vertical del paisaje (componentes biofísicos de la base natural del sistema), incluyendo el reconocimiento de las causas y las condiciones de la formación del paisaje’ (Farina, 2006).

Turner (2001) y McIntyre y Hobbs (1999) definen que los paisajes son entidades dinámicas que ocurren en una variedad de escalas espaciales y temporales que varían en función de la percepción de cada organismo o proceso considerado; así, el paisaje puede ser simplemente considerado como un “espacio espacialmente heterogéneo, pero tres de sus características deben ser consideradas: su estructura (relación espacial entre diferentes elementos presentes en el ecosistema o paisaje, es decir, la distribución de especies y materiales en relación con el tamaño, forma, número, el tipo y la configuración de los ecosistemas), su función (la interacción entre los elementos espaciales, que son el flujo de informaciones genéticas, materiales y organismos de los ecosistemas componentes) y sus alteraciones (cambios en la estructura y función del mosaico ecológico, a lo largo del tiempo)” Turner (2001).

Los factores formadores del paisaje se encuentran ineludiblemente en interacción constante e histórica, condición que “*le confieren al paisaje una serie de propiedades emergentes, las cuales son características de acuerdo al estado y la combinación particular de las variables naturales y culturales del territorio*” Etter, (1991). Armenteras y Vargas (2016) definen el “*paisaje como una unidad donde interactúan ecosistemas, especies y el hombre con el uso que este último hace del mismo. Bajo este contexto el paisaje se exterioriza como el espacio producto de la interacción dinámica entre las sociedades humanas, silvestres y con el medio que les rodea, lo que permite que se convierta en un sistema dinámico y complejo en continua transformación*” (Gurrutxaga, 2007) (Cabezas M. M et al., 2020). Vásquez y Andrade (2016) definen paisaje como expresión integrada por la relación ser humano– naturaleza.

La ecología del paisaje es el estudio de las interacciones entre los aspectos temporales y espaciales del paisaje y sus componentes biológicos y culturales; integrando el análisis en los flujos de energía, nutrientes, minerales y especies; la dinámica ecológica del mosaico paisajístico a lo largo del tiempo (Troll C., 1939) (Friedrich, 1990). La ecología del paisaje es entendida como el estudio de la “estructura, función y dinámica de áreas heterogéneas compuestas por ecosistemas interactivos” (Forman y Godron, 1986). Turner et al. (1989) consideran que es un “*área del conocimiento que hace énfasis en las escalas espaciales amplias y los efectos ecológicos del patrón de distribución espacial de los ecosistemas. Por ende, se puede decir que la ecología estudia las relaciones de los patrones espaciales y estructurales del territorio (objeto de la geografía) con los procesos y flujos que tienen lugar en el mismo (objeto de la ecología)*”. Adicionalmente, la ecología del paisaje tiene la posibilidad de analizar patrones bioecológicos enmarcados en la heterogeneidad que expresan los elementos que configuran el territorio, siendo versátil y aplicable a estudios de sistemas ecológicos y socioambientales integrados (Risser et al. 1983) (Wu y Hobbs, 2002) (Lozano, 2019) (Moyano A. et al. 2020).

La ecología del paisaje trata de estudiar la manera como “las actividades antrópicas modifican los elementos que conforman el paisaje, sus características y sus relaciones espacio-funcionales, además cómo la forma en que los organismos silvestres y los ciclos geoquímicos se comportan ante la calidad y disposición de dichos elementos” (García et al. 2020). En términos generales, estudia las causas, procesos y consecuencias de la heterogeneidad espacial (Herrera y Díaz, 2013) (Wu, 2018).

- **Trasformación y gestión territorial del paisaje periurbano**

El paisaje periurbano, los elementos que lo estructuran, así como su transformación, está ubicado dentro de una instancia particular que es el territorio, cuya configuración determina la concepción y dinámica de los usos que la sociedad establece en el mismo. De acuerdo con Irastroza P (2006, 2010) el territorio periurbano, es objeto del análisis del paisaje porque integra el espacio donde se desarrollan los procesos ecológicos y el desarrollo de la sociedad, y precisa que *“Todo espacio es territorio si podemos establecer los fenómenos de intercambio con su entorno”*. El territorio se compone de paisajes, ecosistemas, áreas en diferente estado sucesional y productivo, áreas de conflicto; sus límites pueden coincidir con zonas periurbanas de borde, con cuencas hidrográficas, unidades de paisaje o con un conjunto de ellas, con límites abstractos, artificiales, de carácter administrativo o regional (Irastroza P., 2006).

La identificación, análisis y gestión de los factores de cambio del territorio que determinan la transformación del paisaje en la ciudad y en el entorno urbano-rural, incluye la perspectiva de la ecología del paisaje orientada a la planeación del paisaje Landscape planning, Olschow (1995) quien define la ecología del paisaje como “La base de la planificación” logrando diferenciar entre el inventario del paisaje ecológico (Análisis de paisaje) y su valoración (Diagnóstico del paisaje). Como elemento técnico de análisis del territorio y promoción de redes ecológicas funcionales en el ámbito urbano y periurbano, es indispensable integrar el paisaje, su historia, su dinámica y configuración en la planeación urbanística y el ordenamiento territorial (Nogué y Sala, 2008) (Busquets y Cortina, 2009). En el mismo sentido, Tishler integra en la definición el componente histórico-cultural del territorio como elemento fundamental de la planificación ecológica del paisaje, dándole realce a la relación de los conceptos de ecología y geografía (Tishler, 1995).

La concentración humana en ciudades genera densificación y expansión, aumenta los tensionantes ambientales, a la vez que abre posibilidades y propone retos para el aumento de servicios ecosistemas urbanos. Es así como en las ciudades Latinoamericanas de hoy, la gestión de los espacios públicos está integrada a los retos de gestión de los ecosistemas urbanos y a la búsqueda de conectividad ecológica local y regional (Gaston, K. J et al., 2013). La configuración territorial de las áreas periurbanas depende de las relaciones que las poblaciones humanas establecen con el ecosistema que lo sustenta. Recursos básicos como el suelo, el agua y la vegetación, constituyen la base para la subsistencia de los asentamientos humanos; a la vez que dichos recursos orientan los procesos de producción urbana y rural (DAMA, 1996). En este sentido Goddard M. et al. (2010) menciona que a pesar de que las ciudades ocupan únicamente el 4% de la superficie terrestre, su huella ecológica impacta los ecosistemas y la ruralidad a escalas globales. Estas situaciones se pueden evidenciar en cuencas de transición urbano-rural de ríos como el Rimac (Lima, Perú), Matanza (Buenos Aires, Argentina), Pinheiros, Tieté (San Pablo, Brasil) y Bogotá (Bogotá, Colombia), en donde la gestión ha sido reactiva pero no ha profundizado en los procesos históricos y procesos productivos que han originado la contaminación, fragmentación de los ecosistemas colindantes y deterioro ambiental de las cuencas (OPS, 1998) (CEPAL 1999).

La gestión integrada y sistémica del paisaje periurbano, incluye el manejo de la base natural y su relación con la transformación que la sociedad ejerce en el territorio, vinculando al análisis de la transformación del paisaje los conceptos de aprovechamiento multipropósito de recursos naturales, rendimiento de los recursos naturales renovables, ordenamiento ambiental del territorio y mejoramiento de la calidad de vida (Botero, L.S., 1982). En este sentido, CEPAL (1999) menciona que la aplicación del uso múltiple de los recursos naturales debe integrar la cuantificación y determinación de las dinámicas de cambio y renovación de los recursos locales; así como, el reconocimiento y medición de los impactos, costos y beneficios reales de dicho uso. A su vez, las áreas periurbanas, sus redes de espacios verdes, ecosistemas inmersos y otros ejes de conectividad ecológica cambian de tamaño y forma en el tiempo, así como lo hace también la ciudad misma (Pauleit y Golding, 2005). Por esto la gestión del paisaje periurbano y su red de socioespacios para el disfrute y el suministro de servicios ecosistémicos debe estar abierta al cambio y tener una visión compleja e integrada a la dinámica del territorio.

El análisis sobre la gestión y transformación histórica de los espacios verdes y los ecosistemas colindantes e inmersos en el entorno periurbano, implica comprender y analizar técnicamente desde los gobiernos locales la base de esta gestión y las implicaciones de la concentración de la población y la densificación de las ciudades (Gaston, 2013). Para realizar acertadamente esta gestión, se requiere mayor investigación de las interacciones entre la dinámica histórica de la población, sus sistemas productivos y los procesos ecológicos dentro y en la periferia de la ciudad (Alberti M, 2005). Es necesario entender que los centros urbanos han evolucionado de áreas monocéntricas a policéntricas; en las

que se desarrollan diversas formas y redes internas de áreas verdes, a la vez que, se expresan patrones complejos de paisaje a través de gradientes de cambio entre lo urbano, periurbano y rural (Wu y Hobbs, 2002) (Ortiz, 2014).

Según Sorensen et al. (1998), los asentamientos humanos informales, la industria e inclusive los desarrollos urbanísticos legales para la vivienda y el comercio son emplazados en lugares ambientalmente sensibles, expuestos a riesgos, especialmente inundaciones, procesos de remoción en masa e incendios forestales; a la vez que se reducen hábitats y se fragmentan e impactan negativamente los ecosistemas colindantes con la ciudad. Como ejemplo de ello están las ocupaciones legales e ilegales en el valle aluvial del Río Bogotá, las cuales se ubican en áreas de riesgos por remoción en masa de los Cerros Orientales de Bogotá. También sirven de ejemplo “las ocupaciones en empinadas laderas de La Paz, Bolivia, o las ocupaciones en pantanos y lechos de lagos o depósitos de basura en la Ciudad de México, las que se asientan en laderas con fuerte pendiente de los ríos en Asunción, Paraguay, o las localizadas en bahías poco profundas y ensenadas de Salvador en Brasil o aquellos asentamientos de las lagunas contaminadas de Cartagena, Colombia” (Sorensen et al, 1998). De acuerdo con DAMA (1996) el crecimiento de las ciudades no tuvo en cuenta la importancia de los criterios ambientales y su relación con el territorio como elemento fundamental del desarrollo urbano. La acelerada urbanización presenciada en las últimas décadas en los centros urbanos del país ha generado problemas ambientales críticos que se manifiestan en el nivel local, pero que también tienen consecuencias en el nivel regional y nacional debido a la alta reducción y fragmentación de hábitats y ecosistemas fundamentales para el flujo de los ciclos naturales y la provisión de servicios ecosistémicos vitales a escalas de paisaje o bioma.

Pérez et al. (1996), Hogan (1998) y CEPAL (2015) proponen dos efectos generados de la complejidad de problemas derivados de la acelerada urbanización de las áreas periurbanas. En primer lugar, plantean que el incremento irracional de la población urbana degenera el medio natural, en la medida que deteriora coberturas vegetales, intensifica la presión por el uso agropecuario, urbanístico y altera la regulación del ciclo hidrológico local. En segunda instancia, debido a la complejidad de los conflictos ambientales urbanos y periurbanos la respuesta institucional a la gestión de las cuencas hidrográficas en las ciudades “se obstaculiza por estructuras de gobierno y administración rígidas y anticuadas” (Hogan, 1998). Así, el territorio en contextos periurbanos de transición con la ruralidad, es complejo y frágil. En ellos se concentran niveles crecientes de demanda de energía, materias primas y servicios ambientales; todos estos para convertirlos en actividades domésticas y de producción de bienes y servicios en masa. En este proceso la ciudad se articula dinámicamente con los sistemas agrícolas y ecosistemas que en su conjunto conforman el paisaje (Ecofondo 1998) (DAMA, 1996;). Por otra parte, el territorio periurbano que limita con las ciudades, representado por ecosistemas y paisajes agrarios ha perdido su milenaria capacidad de autogestionarse, debido al importante cambio en la composición y configuración del paisaje, producto de los motores económicos y sociales que impulsan fenómenos de expansión de las ciudades y áreas industriales (Marull et al., 2006). Esta idea es reforzada por White y Pickett (1985) quienes concluyen que los disturbios generados por el desarrollo urbano son eventos discretos que alteran las estructuras y funciones de los ecosistemas.

En este sentido, Ortiz (2014) hace una crítica la carencia de soporte técnico e integración de la dinámica ecológica del territorio en el momento de desarrollar la mayoría de intervenciones físicas orientadas a la recuperación y rehabilitación de áreas verdes y ecosistemas en las ciudades. Además, generalmente no existen análisis sobre los efectos reales en la generación de conectividades ecológica debido a que no se hacen análisis ambientales multiescalares que permitan definir el estado y potencial ambiental de las áreas intervenidas en el ámbito local y regional. Alberti M (2005) expresa que la poca profundidad de la investigación de las implicaciones de la dinámica urbana en la configuración del paisaje y equilibrio ecológico ha conducido a estrategias de reducción de los efectos del crecimiento urbano que no relacionan los procesos históricos de cambio, ni integran los patrones urbanos con la funcionalidad de los ecosistemas.

La transformación del territorio, de los usos que determinan la economía y de la naturaleza que la soporta, está fuertemente relacionada con el estatus territorial otorgado y/o ejercido por cada actor, el cual puede ser entendido como el ejercicio de la soberanía de los actores sobre el territorio (Poulantzas Nicos, 1979). La dinámica de cada actor en este, es pieza clave en la determinación de las actividades que se realizan en las áreas urbanas y periurbanas, que definen en la urbanización, minería, agricultura, ganadería y concentración de la población como algunos de los principales motores de cambio y configuración del paisaje (Van der Hammen et al., 1999) (Fals Borda O, 2000) (Avellaneda Cusarí A, 2007).

- **Gestión de la conectividad en el territorio**

El paisaje se construye a partir de los procesos naturales evolutivos, que son complementados y transformados por las sociedades y la cultura que transforman los componentes físico-bióticos y las estructuras artificiales que configuran paisajes con elementos complementarios e indivisibles. Analizar y gestionar el paisaje integra un enfoque científico interdisciplinario con fundamentos técnicos esencialmente geográficos y ecológicos, a partir del análisis a nivel de escala espacial y temporal buscando interpretar la estructura y dinámica de los paisajes a lo largo del territorio (Etter, 1991) (Forman R. y Godron M., 1986; Forman, 1995) (Vila Subirós et al., 2006) (Wiens y Moss, 2005; Farina, 2006).

En cuanto a la gestión de la conectividad del paisaje en contextos de transición urbano-rural, se puede expresar que el desarrollo de la infraestructura urbana, la política convencional de urbanismo y la visión clásica de los gestores de tierras en la ciudad, limitan fuertemente flujos ecológicos y la conectividad entre áreas verdes y ecosistemas (Le Viol y Clergeau, 2012) (Gaston et al., 2013) (Burel y Baudry, 2003). Por otra parte, el ámbito periurbano y sus áreas de influencia implican la integración de criterios de conectividad mediante el abordaje de las funciones ecológicas, sociales y territoriales de los ecosistemas y áreas verdes armonizadas con los núcleos urbanizados e infraestructuras propias de los centros urbanos y su periferia (Farina, 2006; Forman, 1995). Este enfoque incluye la planeación del tejido de los espacios verdes y los ecosistemas urbanos, como estrategia que permita la armonización e integración entre la ciudad con el ámbito urbano-rural más cercano, orientado al aumento de los servicios ecosistémicos en las ciudades y la conservación de la biodiversidad (Mallarach, 2004; Sastre, 2002).

Gaston et al. (2013) incorporan el planteamiento de Wackernagel et al. (2006), en el sentido que la gestión de los espacios verdes y los ecosistemas periurbanos debe reducir los impactos del crecimiento urbano en los territorios rurales. Esto propone superar las miradas clásicas de la ciudad donde el enfoque se centra en la destrucción que genera la ciudad y no en su potencial como territorio para la generación de bienes y servicios ecosistémicos, es decir, proveerse en parte de los suministros que requiere. Este análisis es fortalecido por Haines-Young y Potschin (2012) y por Abson et al. (2020), que precisan la necesidad de un cambio de enfoque en la demanda y oferta de recursos rurales hacia la ciudad, proponiendo encontrar en la ciudad un proveedor de insumos, en ocasiones sustitutos de los requeridos de la ruralidad como mecanismo que minimice los efectos e impactos de las ciudades en los territorios de la región.

La gestión del paisaje introduce estrategias como la generación y consolidación de corredores ecológicos que conecten rondas hídricas de ríos, quebradas y canales urbanos y periurbanos, con fragmentos de ecosistemas, de masas forestales en parques, con la red de arbolado urbano multipropósito (paisajismo y funcionalidad ecológica). Vila Subirós et al. (2006) definen que los corredores como elementos estructurales del paisaje que cumplen una función estratégica en la conectividad entre fragmentos de ecosistemas disminuyendo el efecto de aislamiento y fragmentación del paisaje. Esta conectividad se debe materializar en las funciones de los corredores para proveer hábitat permanente o transitorio; facilitar la conducción o movilidad de la biodiversidad; filtrar o actuar como barrera para algunas tensionantes antrópicas o especies invasoras; propagar flujos ecológicos energéticos o especies entre parches y hacia la matriz; y finalmente ser receptora o sumidero para albergar organismos que provienen de la matriz (Forman, 1995) (Bennett, 2003) (IAvH, 2009) (Goddard M. et al., 2010).

Según Vélez (2011) las ciudades europeas y norteamericanas han renaturalizado cuerpos de agua, generado y establecido materiales permeables sustitutos del concreto, esto como mecanismo de regulación climática y reactivación de dinámicas ecológicas. Otro aspecto importante es la búsqueda de manejo de la biodiversidad en las ciudades y sus periferias reconociendo la importancia de la fauna no doméstica residente y migratoria, así como su función ecológica en el paisaje urbano (Livingston et al., 2003). En cuanto al abordaje de la composición y distribución del paisaje urbano y periurbano, según Gaston et al. (2013) las tierras y espacios verdes urbanos deben concebirse permeables; también, sus zonas verdes y ecosistemas existentes son diversos en áreas y composición (tamaños, formas, tipo de propiedad). Así mismo, generalmente en las periferias las zonas verdes y ecosistemas urbanos son más grandes y extensos, su gestión debe orientarse en función de conectividad ecológica con la ciudad, con las áreas protegidas rurales y con las tierras agropecuarias (Gaston et al., 2013).

Las políticas urbanísticas y de conservación deben ser transformadoras, así puede incorporar en la práctica conceptos como la conectividad ecológica y el eourbanismo. Los ecosistemas y espacios verdes naturales, seminaturales y artificiales se deben potenciar desde sus cualidades y distribución espacial dentro de la ciudad y su periferia para entenderlos como elementos interconectados de un mismo sistema (Goddard, M., Dougill, J., y Benton, G., 2010). La gestión de estos espacios tiene el reto de valorar el real potencial de pequeños parches y corredores como proveedores

de servicios ecosistémicos y otros atributos ambientales para las ciudades, y definir las estrategias para integrarlos adecuadamente a la planeación territorial. Estos argumentos son abordados por Hernández et al. (2019) quienes resaltan la importancia de entender la “historia de cambio de los paisajes para tomar decisiones de gestión y uso del territorio”.

- **Conectividad ecológica y estructural**

Desde la ecología del paisaje, el concepto de conectividad del paisaje (estructural y funcional) busca analizar las dinámicas entre dos áreas o fragmentos de coberturas similares que sean capaces de intercambiar flujos de energía ecológicos manteniendo su integridad (Noss, y Beier, 1998; Brandt, 2003) (Baudry y Burel, 2003) (Irastorza, 2010). Taylor et al. (2006) consideran dos tipos de conectividad: estructural y funcional. La conectividad estructural o espacial se refiere a las relaciones de continuidad y adyacencia entre los fragmentos de un tipo de cobertura, mientras que la conectividad funcional se refiere a la continuidad de los flujos ecológicos que se dan a través del paisaje, incluyendo el comportamiento que presentan los individuos en respuesta a los elementos del paisaje, ya sea que éstos faciliten o restrinjan el movimiento y el flujo de genes (dispersión que conlleva a la reproducción) entre parches de hábitat (Taylor et al., 2006). La conectividad estructural describe la variedad y arreglo espacial de los elementos físicos del paisaje, como el tipo de cobertura vegetal y la distribución espacial de carreteras, y aumenta cuando los fragmentos de un tipo de cobertura están más cercanos entre sí. En este sentido, la conectividad estructural es analizada mediante la aplicación de índices o métricas del paisaje calculadas por medio de un sistema de información geográfica (Gustafson, 1998).

La conectividad ecológica toma relevancia debido a que en el mediano y largo plazo la existencia de áreas protegidas con ecosistemas aislados resultan no ser funcionales y eficientes para la protección de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos que proveen (Forman y Gordon, 1986). Algunos autores como (Bennett y Wit, 2001) y (Lefebvre, 2010), concretan el término de conectividad a aplicaciones de gestión del territorio, conduciéndolo hacia el concepto de “redes ecológicas” que involucra y relaciona elementos naturales (ecosistemas) e infraestructura y espacios verdes construidos. Vila Subirós et al. (2006) ratifican el postulado de (Wilson, 1992) en el que define que los corredores como elementos estructurales del paisaje cumplen una función estratégica en la conectividad entre fragmentos (parches) disminuyendo el efecto de aislamiento y fragmentación del paisaje; así como, el planteamiento de Taylor (1993) que vinculan a los corredores la capacidad de movilidad de los organismos. Esta conectividad se debe materializar en las funciones de los corredores para proveer hábitat permanente o transitorio; facilitar la conducción o movilidad de la biodiversidad; filtrar o actuar como barrera para algunas tensionantes antrópicas o especies invasoras; propagar flujos ecológicos energéticos o especies entre parches y hacia la matriz; y finalmente ser receptora o sumidero para albergar organismos que provienen de la matriz (Forman, 1995) (Bennett, 2001).

La configuración del paisaje se representa bajo tres elementos: matriz, parche y corredor. La matriz corresponde o constituye al “*elemento dominante (cobertura de la tierra) de orden homogéneo que permanece conectado, donde se encuentran inmersos los otros dos; normalmente responde a espacios abiertos compuestos por territorios agrícolas (cultivos, pastos) y territorios artificializados, por lo que se convierte en el elemento de mayor control en la dinámica del paisaje*” (Armenteras & Vargas, 2016).

Los parches o fragmentos son áreas relativamente homogéneas insertadas en la matriz, con características propias, convirtiéndose en la unidad mínima para el análisis del paisaje. “Son diferentes en tamaños, forma, arreglo espacial y composición (tipo de fragmento o parche) y están sujetos al tipo de uso del suelo, así como a la cobertura de la tierra” (Morera, Pinto Romero, 2007). “De acuerdo con el tamaño de los parches estos conservan zonas o áreas núcleos, las cuales mantienen el valor ecológico mayor, con una alta diversidad y capacidad de albergar especies en su interior” (Herrera y Díaz, 2013) (Cabezas et al., 2020). Los corredores son espacios del territorio que permiten el desplazamiento de los organismos (principalmente fauna y flora) y son considerados como un hábitat lineal encajado en una matriz disímil a la del paisaje circundante que conecta. La matriz conecta dos o más fragmentos del mismo hábitat. “Su propósito es mantener la viabilidad de poblaciones de vida silvestre específicas en los fragmentos del ecosistema, facilitando el paso de individuos de un fragmento a otro” (Brenes, 2009) (Cabezas et al., 2020). Santos y Kersten (2014) consideran tres tipos de corredores según su funcionalidad: “a) corredores migratorios: utilizados en los movimientos migratorios; b) corredores regulares: utilizados en los movimientos entre zonas de alimentación y refugio y en otros movimientos diarios y c) corredores de dispersión: enlazan hábitats fragmentados o aislados con otras áreas similares, permitiendo los flujos migratorios entre poblaciones y metapoblaciones”.

- **Reducción de continuidad y fragmentación de las coberturas**

La fragmentación ecológica del paisaje puede considerarse un efecto dinámico de las transformaciones de uso del territorio, y expresa la pérdida de cantidad y funcionalidad de un hábitat u otra cobertura; es un proceso que actúa a escala de paisaje y determina tanto la pérdida de hábitat como su división en diversas unidades. Esto implica una diferencia entre la reducción de hábitats relacionada con la disminución del área de un fragmento (Parche), mientras el término fragmentación relaciona la división o seccionamiento del fragmento en otros más pequeños generando distanciamiento entre los mismos (Aguilera F. 2010) (Saura et al. 2019).

La fragmentación es un concepto inverso a la conectividad (Irastroza, 2010), genera repercusiones en ocasiones irreversibles para la integración de las poblaciones en el territorio, e involucra relaciones cuantificables como el número de fragmentos, su perímetro, tamaño y forma (Gaston et al, 2013). En el análisis de la fragmentación se integran elementos del paisaje como el fragmento y la matriz. En especial en la matriz urbana los espacios con coberturas naturales originales y otros espacios verdes tienden a ser más dispersos y con alta heterogeneidad de tamaño limitando o inhibiendo la funcionalidad de la conectividad ecológica de las áreas (Forman 1995; Trombulak et al, 1999).

Así mismo, los fragmentos (Parches) expresan la continuidad o fragmentación de las coberturas y son claves para el análisis de transformación del territorio. Dentro de los argumentos de McArthur y Wilson (1963), se encuentra que en términos biológicos la superficie de los fragmentos determina la diversidad que se presenta en su interior. De acuerdo a Wilson (1992) y Forman (1995) lo anterior se ha convertido en un aspecto central de análisis de la fragmentación ecológica introduciendo índices para la cuantificación del tamaño, la forma y la distancia de los fragmentos. “La alteración y cambios de los patrones espaciales (transformación del paisaje) en ecosistemas terrestres son continuos y dinámicos; afectan y amenazan la biodiversidad de un lugar, siendo las acciones antrópicas o perturbaciones exógenas las de mayor grado (expansión de la frontera agrícola, desarrollo urbano, infraestructura vial, industrial, entre otras) y en menor grado las perturbaciones naturales o endógenas (incendios naturales, tormentas eléctricas, deslizamiento de tierra), que son las principales causantes en la reducción del tamaño e incremento del aislamiento de los fragmentos del bosque y sus principales efectos” (Cabezas et al. 2020). Forman (1995) define fragmentación como la ruptura de un hábitat o de un tipo de tierra en parcelas más pequeñas en las que algunos remanentes del bosque natural quedan inmersos en una matriz de hábitat transformados. McIntyre y Hobbs (1999) “consideran un paisaje fragmentado cuando tiene entre 10 % y 60 % de hábitat natural, donde al disminuir la conectividad aumenta el efecto de borde.

- **Análisis y métricas del paisaje**

Es el análisis de las interacciones entre los patrones de paisaje y los procesos ecológicos que se presentan. En este sentido, las métricas del paisaje se presentan como una herramienta de análisis del paisaje y proveen una invaluable perspectiva de las características estructurales de los paisajes. Brenes (2009) indica que “los índices de fragmentación estructural pueden ser ubicados en tres categorías: composición, forma y configuración”. La ecología del paisaje se basa en gran medida en la noción de que el medio ambiente los patrones influyen fuertemente en los procesos ecológicos (Turner 1989). “Los hábitats en los que viven los organismos, por ejemplo, están estructurados espacialmente en varias escalas, y estos patrones interactúan con el organismo percepción y comportamiento para impulsar los procesos de nivel superior de dinámica de población y comunidad estructural (Johnson et al. 1992).” Correa et al. 2008. “Existen una extensa cantidad de métricas para cuantificar los patrones espaciales y configuración del paisaje, y aunque programas como FRAGSTATS (McGarigal y Marks, 1995, McGarigal et al., 2002) las calculan de manera rápida, la comprensión de dichas métricas es indispensable para su correcta utilización y análisis (Turner, 2001).”

Las métricas del paisaje proveen información útil acerca de las relaciones espaciales en el paisaje (O'Neill et al., 1988). Como, por ejemplo, la proximidad, la agregación y el aislamiento entre fragmentos que conforman un tipo de cobertura en particular (Botequilha et al., 2006). De esta manera, el análisis de la conectividad estructural a través del tiempo es relevante porque permite describir los patrones de cambio en la configuración espacial de los elementos estructurales del paisaje (matriz, fragmento y corredor) generando información clave acerca del nivel de intervención antrópica en un momento y área determinada (Forman, 1995), siendo un componente fundamental en el monitoreo de la integridad ecológica para la conservación de la biodiversidad.”

La interrupción de los patrones del paisaje puede comprometer su integridad funcional al interferir con procesos ecológicos críticos necesarios para la persistencia de la población y el mantenimiento de biodiversidad y salud de los ecosistemas (con 2000). Por estas y otras razones, se han desarrollado métodos para cuantificar los patrones del paisaje, que se considera un prerequisite para el estudio de las relaciones patrón-proceso (O'Neill et al. 1988, Turner y Gardner 1991, McGarigal y Marks 1995). A partir de estos postulados se han generado diversos índices de patrones de paisaje; proceso que ha integrado los avances recientes en tecnologías de procesamiento informático e información geográfica (SIG).

- **La cuenca hidrográfica como unidad de análisis para la interpretación de la transformación del territorio y el paisaje**

Desde el punto de vista hidrográfico la cuenca hidrográfica es un “área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor, que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de agua, en un pantano o directamente en el mar” (Decreto Ley 2811 de 1974, artículo 312, Decreto 1640 de 2014, MADS). En la misma perspectiva, Monsalve G. (1995) propuso que la cuenca hidrográfica es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, cuyos caudales confluyen en una salida común, y que a la vez donde se desarrollan fenómenos de infiltración, escorrentía y evapo transpiración.

Para Botero (1982) y Londoño (2001), las cuencas hidrográficas también se entienden como unidades espaciales que se definen y median por un conjunto indeterminado de interacciones físicas, bióticas, sociales y económicas que determinan su composición y dinámica de cambio. Esta posición es integrada a los postulados expresados por López y Hernández (1972) y Negret, R. (1982), donde es definida como unidad territorial natural definida por divisores topográficos y definida por una superficie de drenaje donde interactúan los factores físicos, biológicos y humanos que conforman un sistema socio-ecológico en constante cambio.

Esta unidad territorial es fundamental y estratégica para el ordenamiento ambiental del territorio, porque sus aspectos fisiográficos que la estructuran no son fácilmente cambiantes, a la vez que integran diversidad de relaciones ecológicas, socioeconómicas y culturales que permiten una comprensión integral de la realidad del territorio (Dourojeanni et al. 2002). Al respecto, las cuencas hidrográficas permiten la presencia y dinámica continua de cambio de procesos donde se relaciona el ciclo hidrológico y la naturaleza en toda su dimensión con el desarrollo de la cultura y sus implicaciones en los cambios en el uso del territorio, la transformación del paisaje y el manejo de los recursos naturales (IDEAM; MADS, 2014). Este sistema biofísico con límites geográficos definidos se estructura y compone de elementos naturales que determinan su oferta ambiental; también se define y significa a partir de su historia biogeofísica, social y sistema económico local que determinan cualidades productivas y generan en el tiempo transformaciones de los ecosistemas y de las cualidades del territorio original (Maya, D. et al, 2008).

Con estos elementos de análisis conceptual aplicado, se enfoca un trabajo desde la gestión integrada y sistémica de las cuencas hidrográficas que concibe la vinculación del manejo de la base natural del territorio a la realidad de transformación y presión que la sociedad ejerce sobre la cuenca (Botero, L.S., 1982). En este sentido, CEPAL (1999) postula que la aplicación del uso múltiple de los recursos naturales en la gestión de cuencas hidrográficas debe integrar la cuantificación y determinación de las dinámicas de cambio de los recursos naturales locales.

En concordancia, según Alberti M (2005) la poca profundidad de la investigación de las implicaciones de la dinámica urbana en la configuración del paisaje y equilibrio ecológico ha conducido a estrategias de reducción de los efectos del crecimiento urbano que no relacionan los procesos históricos de cambio, ni integran los patrones urbanos con la funcionalidad de los ecosistemas.



En la **Tabla 1** se mencionan y cuantifican los componentes y elementos de la Estructura Ecológica Principal – EEP presentes dentro del área de estudio de la cuenca hidrográfica del río Torca:

**Tabla 1.** Componentes y elementos de la Estructura Ecológica Principal – EEP presente en el norte de Bogotá D.C. delimitados por la cuenca hidrográfica del río Torca. Fuente: a partir de SDA, 2017 ajustado a partir de Decreto 555 de 2021.

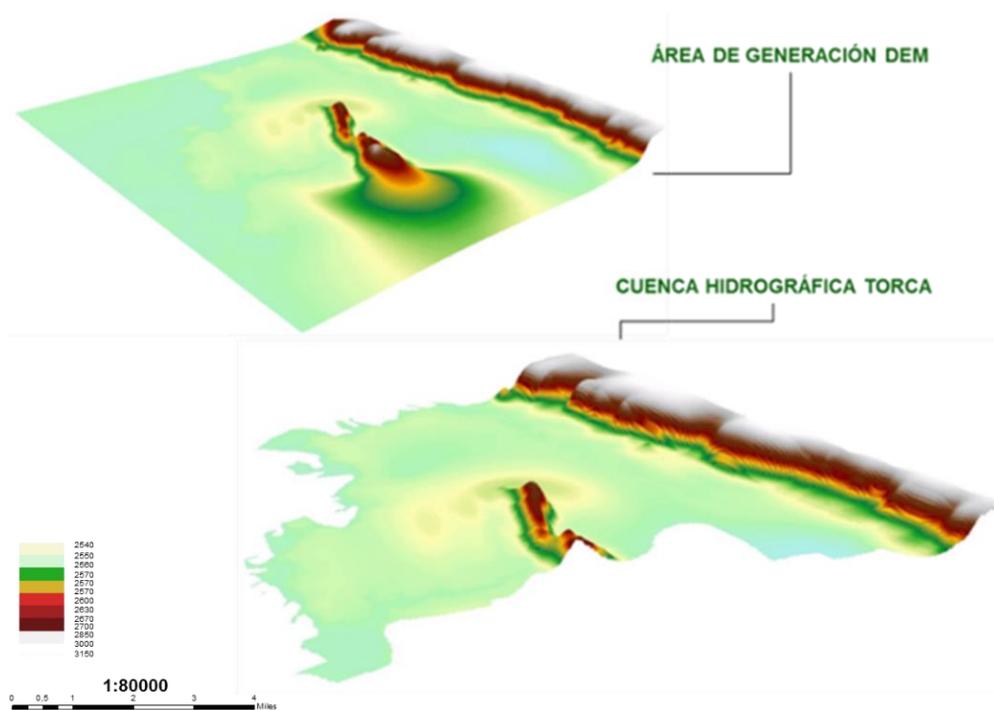
COMPONENTE DE LA - EEP	ELEMENTOS DE LA - EEP	CANTIDAD	NOMBRE (Categoría de suelo de protección)	CUENCA HIDROGRÁFICA
SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS	- Reserva Forestal Protectora	1	Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá	Segmento Torca
ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN IN SITU	- Reserva Forestal – Productora y protectora productora	2	Reserva Regional Forestal Productora del Norte Thomas Van Der Hammen; Reserva Forestal Protectora Productora Cuenca Alta Río Bogotá	Torca
ÁREAS PROTEGIDAS DISTRITALES  ZONAS DE CONSERVACIÓN	- Parque Distrital Ecológico De Montaña - Reserva Distrital de Humedal (Decreto 555 de 2021) antes Parque Ecológico Distrital De Humedal (Decreto 190 de 2004 no vigente)	5	PDEM Cerro La Conejera PDEM Cerro de Torca RDH Torca y Guaymaral RDH La Conejera	Torca
SISTEMA HÍDRICO	- Rondas hídricas antes Corredor Ecológico De Ronda	23	Cuerpos de agua loticos con toponimia de Quebrada y/o canal	Torca
SISTEMA HÍDRICO	- Ronda Hidráulica y APCA Río Bogotá - Parque lineal del Río Bogotá - Áreas de resiliencia climática del río Bogotá	1	AME Río Bogotá sector Norte borde occidental localidad Suba hasta límite del D.C. con municipio de Chía	Torca
PARQUES Estructurantes y de Borde	- Parques estructurantes y de Borde del Río Bogotá. - Parque de borde área de ocupación pública prioritaria AOPP de la franja de adecuación de cerros	2	Parque Metropolitano Torca - Guaymaral	Torca

La cuenca hidrográfica tiene un área total de **9856,81 ha**. El cauce del río Torca tiene **14.24 Km** y el conjunto de la red de drenajes representada en 23 quebradas y/o canales tiene una longitud de drenajes de 80.86 Km de longitud. El **65,94%** de la cuenca hidrográfica corresponde a suelo rural y el **34,06%** a suelo urbano (**Figura 1**). El área de estudio presenta dos unidades de paisajes fisiográficos; el primero ubicado en el sector occidental y central del área de estudio, definido por un valle aluvial de origen fluvio lacustre, correspondiente con las áreas planas con bajas pendientes y concordantes con los cauces de los ríos Bogotá y Torca, partes bajas de microcuencas del sistema de quebradas existentes y el sistema de los humedales de Torca y Guaymaral, La Conejera, El Conejito y otros sistemas lénticos fluvio lacustres presentes en el área. El segundo ubicado en el oriente de la cuenca, corresponde a un paisaje de montaña estructural definido por el segmento de la cadena orográfica de cerros orientales de Bogotá que se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica y un segmento aislado correspondiente con el Cerro La Conejera que se ubica en el sector sur del área concordante con zonas de alta pendiente, de recarga acuífera, densidad alta de drenajes y partes altas de las microcuencas de quebradas que completan la red hidrográfica (**UN - CAR, 2011**) (**CAR, 2014**) (**Figura 2**).

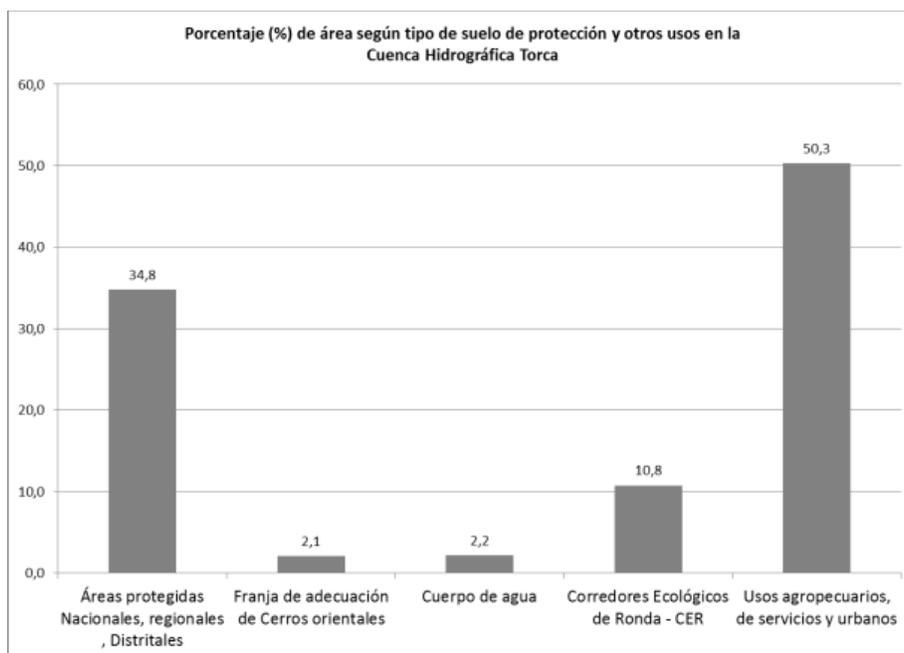
Actualmente el **49,72%** de la cuenca hidrográfica corresponde a ecosistemas con categorías de suelo de protección como Áreas protegidas nacionales, regionales, distritales, franja de adecuación de cerros orientales, cuerpos de agua, Corredores Ecológicos de Ronda – CER, que están incluidos según Plan de Ordenamiento Territorial POT (Decreto 190 de 2004) como elementos de la Estructura Ecológica Principal EEP del Distrito Capital. El 34,8% de estos elementos corresponden a categorías de áreas protegidas; el 10,8% son rondas hídricas (Corredores Ecológicos de Ronda CER); 2,2% corresponden a cuerpos de agua; y, 2,1% al Área de Ocupación Pública Prioritaria AOPP de la Franja de adecuación de Cerros Orientales dentro de la cuenca. El 50,3% corresponden a suelos con categorías de uso agropecuario, industrial, comercial y urbano (**Figuras 3 y 4**).

Como procedimiento inicial, a partir de la información geográfica y documental oficial se elaboró el modelo digital de elevación del área de estudio para representar el contexto fisiográfico de la cuenca hidrográfica que abarca el área

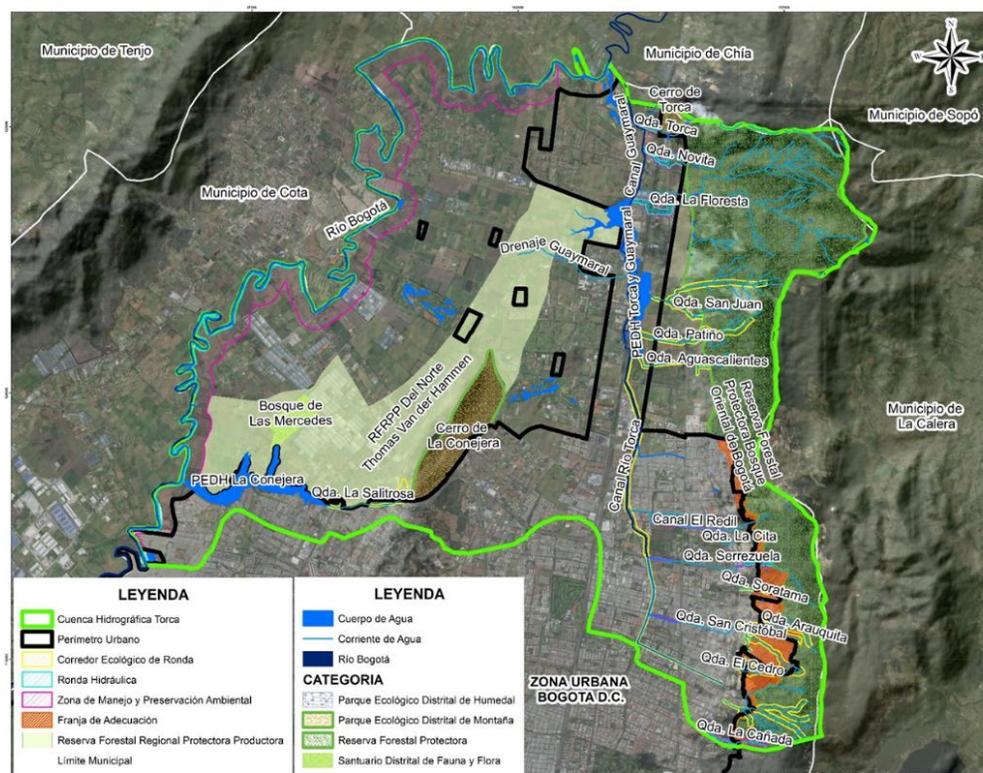
de estudio. Además, se determinó la relación del área total de la cuenca hidrográfica con relación a diferentes figuras incluidas en las categorías de suelo de protección de la Estructura Ecológica Principal EEP del Distrito Capital.



**Figura 2.** Modelo Digital de Elevación y paisajes fisiográficos identificados en la Cuenca Hidrográfica Torca.



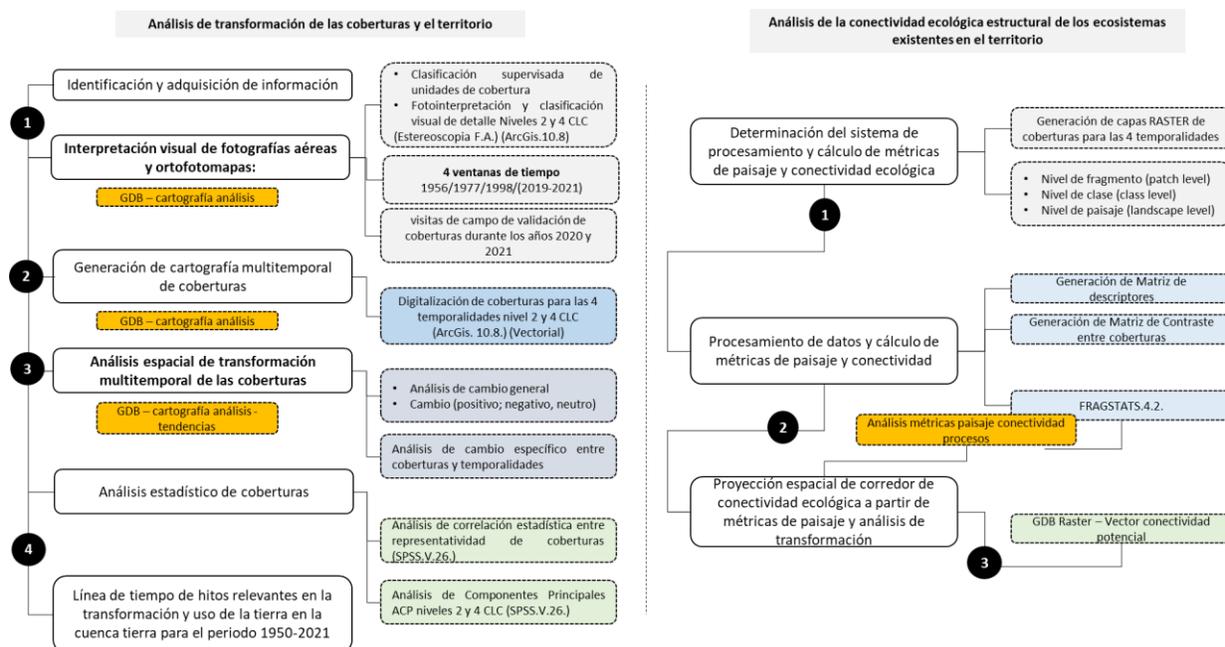
**Figura 3.** Porcentaje de áreas de los elementos de la Estructura Ecológica Principal EEP dentro de la Cuenca Hidrográfica Torca.



**Figura 4.** Ubicación de áreas de los elementos de la Estructura Ecológica Principal EEP dentro de la Cuenca Hidrográfica Torca.

## 2.2. ANÁLISIS DE TRANSFORMACIÓN DE LAS COBERTURAS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA PARA EL PERIODO 1950-2021

El territorio de estudio corresponde a un paisaje con coberturas naturales y coberturas culturales, que han registrado transformaciones a través del tiempo. Para el estudio se entiende por cobertura a todos los aspectos que forman parte del recubrimiento de la superficie terrestre, ya sean de origen natural o cultural, generalmente son de orígenes bióticos, o bien producidos por algún tipo de actividad biótica y/o antrópica (Etter 1990, 1991; Etter et al, 2016) (Fischer et al. 2009) (Turner et al. 2001). Para identificar las unidades de cobertura localizadas en el área de estudio, se realizó la identificación del cambio en las coberturas en el tiempo, de los procesos de fragmentación y la conectividad ecológica, a través de análisis cualitativo y cuantitativo incluyendo interpretación de fotografías aéreas, ortofotomapas e imágenes satelitales y cálculo de métricas del paisaje (**Figura 5**).



**Figura 5.** Procedimiento metodológico realizado para el análisis de transformación del territorio y análisis de conectividad ecológica estructural.

#### • Análisis y procesamiento de la información

Para la determinación de la transformación de las coberturas, ecosistemas y usos del se utilizaron los siguientes procedimientos metodológicos:

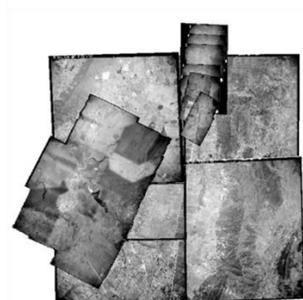
a) **Identificación de unidades de cobertura, ecosistemas y usos del suelo en el área de estudio:** Se realizó la valoración del cambio en las coberturas de los ecosistemas para los cuatro tiempos analizados (1956 – 1977 - 1998 – 2021). **Las variables** utilizadas fueron a) Tipo de cobertura; b) tamaño de cobertura (Perímetro, área, porcentaje de área ocupada por la cobertura) c) Número de polígonos de la misma cobertura. Se realizó un análisis cualitativo y cuantitativo de interpretación visual estereoscópica de fotografías aéreas, imágenes satelitales PlanetScope y ortofotomosaicos. Se utilizaron las fotografías aéreas oficiales IGAC y las Ortofotos de la infraestructura de Datos Espaciales del Distrito Capital- IDECA disponibles con mayor resolución de escala y detalle (**Tabla 2**) (**Figura 6**).

**Tabla 2.** Material cartográfico base (aerofotografías, ortofotomosaicos e imágenes de satélite) para el análisis espacial multitemporal y de conectividad ecológica estructural de la cuenca río Torca para el periodo 1956 – 2021.

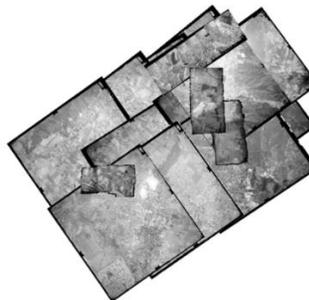
Año tiempo	Tipo de imagen	Fuente de suministro	Escala y/o resolución espacial	Vuelo – Series sobres
Año 1956	Aerofotografías	Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC	1:9000	<b>C-770/1956</b> S-2925 A – 2925B S2924 <b>C-773/1956</b> S-2943 – 2942 – 2941 – 2940 – 2939 – 2935 – 2936 – 2937 – 2938 – 2930 <b>C- 778/1956</b> S- 2956 – 2957 <b>C-619</b> S-20014 – 200156 - 20016 – 20017 – 20018 – 20019 <b>C-620/1952</b> 20024 M-46 /1955 S-150-151

**Tabla 2.** Material cartográfico base (aerofotografías, ortofotomosaicos e imágenes de satélite) para el análisis espacial multitemporal y de conectividad ecológica estructural de la cuenca río Torca para el periodo 1956 – 2021.

Año tiempo	Tipo de imagen	Fuente de suministro	Escala y/o resolución espacial	Vuelo – Series sobres
Año 1977	Aerofotografías	Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC	1:9000 1:10500	<b>C1724/1977</b> S-28626 – 28627 – 28628 <b>R-667/1973</b>
Año 1998	Ortofotomosaico Bogotá D.C.	Infraestructura de Datos Espaciales del Distrito Capital IDECA	1:25000	Ortofotomosaico Bogotá D.C.
Año 2021	Imagen Satelital Planet Scope	Infraestructura de Datos Espaciales del Distrito Capital IDECA	3 metros (pixel) 1:12000	Imagen Satelital Planet Scope Validación de campo (año 2020-2021)



Ortofotomosaico año 1956. Fotos aéreas IGAC



Ortofotomosaico año 1977. Fotos aéreas IGAC



Imagen Ortofotomosaico Bogotá D.C. año 1998. IDECA, 1998.

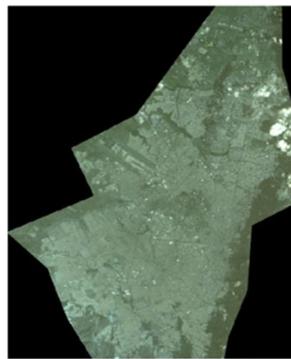


Imagen Planet Scope (Bogotá) año 2019.

**Figura 6.** Material cartográfico base (aerofotografías, ortofotomosaicos e imágenes de satélite) para el análisis espacial multitemporal y de conectividad ecológica estructural de la cuenca río Torca para el periodo 1956 – 2021.

- **Manejo de material cartográfico y área mínima cartografiable**

Los datos geográficos de cobertura fueron generados y analizados para los cuatro (4) tiempos (1956, 1977, 1998, 2021). La información cartográfica utilizada presenta diferencias en sus características espaciales y espectrales, por esta razón, para el análisis comparativo fue necesario unificarlos en cuanto a su leyenda y escala de análisis (1:25000). La interpretación de los años 1956 y 1977 se realizó sobre fotografías aéreas convencionales pancromáticas B/N a escala 1:9.000 y 1:9000 y 1:10500 respectivamente. Para el tiempo 1998 se utilizó el ortofotomosaico de fotos aéreas pancromáticas B/N a escala 1:25000. El tiempo 2021 se analizó a partir de la imagen PlanetScope 2019 de tamaño de pixel 3m x 3m escala 1:12000 y se realizó con validación de las coberturas en campo durante los años 2020 y 2021. El material cartográfico utilizado fue ortocorregido y tiene alto nivel de confianza superior al 90% con error en los puntos de control fijado en 0,2mm a escala 1:25000 (López et al., 2006).

El área mínima cartografiable AMC se estandarizó para todos los tiempos analizados, para lo cual el área utilizada fue de 1,5 ha, (Unidad Mínima Cartografiable A real  $0,25 \text{ cm}^2$ ) valor cercano más detallado que el AMC más pequeña aceptable para 1:25000 que corresponde a 1 mm lineal = 25 m; tamaño lado 125 m x 125 m (Vargas, 1992) (IGAC, 2005) (Lencinas y Siebert, 2009) (Priego et al., 2010). Todas las bases de datos espaciales se encuentran en el la proyección del Sistema de coordenadas Manga Sirgas Ciudad de Bogotá.

Con el empleo de imágenes provenientes de sensores remotos y gracias a las *“diversas características orbitales, a los diferentes campos de visión y de resolución espacial que éstos ofrecen, es posible realizar observación multiescalar de numerosos hechos y fenómenos geográficos, ya sea llevar a cabo un estudio acerca de la distribución espacial de los ecosistemas terrestres a escala global, o realizar el levantamiento de la morfología urbana a escalas locales en el que sería imprescindible emplear sensores remotos que aporten un alto nivel de detalle. El método de muestreo en campo y la coherencia geométrica en las diferentes coberturas, también son factores determinantes de la calidad de las coberturas temáticas, y usualmente no son consideradas en el momento de la cuantificación de la precisión”* (IGAC, 2005) (Lencinas y Siebert, 2009).

Los análisis de coberturas para cada ventana de tiempo y de transformación multitemporal se realizaron en tres etapas así:

### **Etapas 1: Interpretación visual de fotografías aéreas y ortofotomapas:**

**Ortorección y puntos de control y mosaicos para tiempos (1956 y 1977):** Se realizó este procedimiento para las fotografías aéreas de los años 1956 y 1977. Para los años 1998 y 2021 no fue necesario realizarlo dado que el material digital utilizado fue facilitado por la Secretaría Distrital de Ambiente SDA y la Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital IDECA material que ya se encontraba ortorectificado. Este procedimiento se utilizó para corregir las distorsiones geométricas significativas cuya fuente pueda provenir de variaciones de altitud, orientación y la velocidad de la plataforma del sensor de registro de las imágenes, o de distorsiones panorámicas, curvatura de la tierra, refracción atmosférica y relieve del terreno, logrando con este proceso que las imágenes y mosaicos generados tuvieran mayor integridad geométrica. Sin la ortorectificación, la escala no es constante en la imagen y no pueden hacerse mediciones precisas de distancia y dirección (Cuartero y Felicísimo, 2003) (Leica Geosystems, 2004) (Lillesand et al., 2004) (Okeke, 2006).

Se consideraron las distorsiones sistemáticas al azar o impredecibles analizando puntos de control (GCP) distribuidos proporcionalmente que se encuentren en la imagen (Lillesand et al., 2004), para el estudio se utilizaron mínimo 12 puntos de control. El componente instrumental para el “establecimiento de una relación exacta entre las imágenes de un proyecto, la cámara o el sensor, y el terreno son los puntos de control” (GCP), los puntos de control son objetos identificables en la superficie terrestre que tienen coordenadas conocidas (X, Y, Z) (ERDAS, 2001). Los puntos de control se seleccionaron ubicando lugares del terreno que se pueden ubicar de forma precisa en la imagen como vías, ríos, construcciones, viviendas, lagos artificiales, canchas deportivas, otros (Lillesand et al., 2004) (IGAC, 2016). Este procesamiento se realizó utilizando el software ERDAS Toolbox – IMAGE – Frame Camera y ArcGIS 10.8.

**Georeferenciación:** Este proceso “consiste en asignar, a las coordenadas de celda de una imagen, las coordenadas sobre el terreno en un sistema de proyección dado terreno” (Oracle, 2003). Así se relaciona una información geográfica a unos puntos en común con el fin de llevar toda la información a unas coordenadas base para que posteriormente otros datos se puedan unir al mismo y estos guarden la misma relación. La georeferenciación se puede aplicar a todo tipo de datos ya sea línea, punto o polígono. La georeferenciación de todo el material cartográfico utilizado y los productos generados se realizó utilizando el sistema de referencia Manga Sirgas Ciudad de Bogotá en ArcGIS 10.8.

**Clasificación de imágenes:** La clasificación de imagen hace referencia a la tarea de extraer clases de información de una imagen ráster multibanda. El ráster resultante de la clasificación de imagen se puede utilizar para crear mapas temáticos. *“En la herramienta ArcGIS Spatial Analyst extension, hay un conjunto completo de herramientas en el conjunto de herramientas Multivariante para realizar clasificaciones supervisadas. El proceso de clasificación es un flujo de trabajo de varios pasos; por consiguiente, se ha desarrollado la barra de herramientas Clasificación de imagen para proporcionar un entorno integrado para realizar clasificaciones con las herramientas. La manera*

*recomendada de realizar la clasificación y el análisis multivariante es mediante la barra de herramientas Clasificación de imagen.” (ESRI, ArcGIS, 2021).*

**Clasificación supervisada como referencia general:** Dentro de la etapa de selección de métodos, se realizó una clasificación supervisada de fotografías aéreas, imágenes de satélite y ortofotomapas para la identificación y clasificación de las unidades de cobertura presentes en el área de estudio. Esta clasificación sirvió como referente de la distribución de coberturas en los cuatro tiempos analizados, sin embargo, no fue utilizada para la cuantificación y análisis multitemporal de la investigación, debido a que la alta resolución del material cartográfico obtenido para el estudio permitió seleccionar el método de clasificación visual de coberturas como el más óptimo para garantizar el detalle de las áreas específicas de transformación de coberturas en los cuatro tiempos analizados.

Paso 1: Se realizó la carga de las imágenes raster para los cuatro tiempos 1956, 1977, 1998 y 2021 en el Software ArcGis 10.8. Se realiza el ajuste de las bandas espectrales para dar mayor contraste a las tonalidades.

Paso 2. Se generó una capa de puntos (Shape de puntos) la cual se clasificó según las coberturas que fueron asignadas en la respectiva tabla de atributos del shape. En este caso por ejemplo 1= bosques; 2= pastos limpios; 3= cultivos; 4; invernaderos; 5= cuerpo de agua; 6= vías; 7=zonas urbanas tejido urbano; 8= aeropuerto.

Paso 3. Se aplicó la Herramienta de ArcToolBox en Spatial Analyst Tools en Multivariate en Create Signatures. En este paso se genera un archivo con extensión .gsg en cual fue guardado en la respectiva carpeta de trabajo. En este archivo se pueden observar los valores de las firmas espectrales para las diferentes bandas de la imagen, para lo cual se puede abrir el archivo con el Blog de Notas de Office.

Paso 4. Para la generación del ráster de la clasificación supervisada se aplicó la herramienta de ArcToolBox en Spatial Analyst Tools en Multivariate en Maximum Likelihood Classification. Se ingresa los datos de la siguiente manera:

- Se ingresó el ráster de la imagen satelital en «input ráster bands».
- Se ingresó en “input signature file” el archivo con extensión .SGS generado anteriormente.
- En la celda «Reject action» se le asignó el valor de 0,1, según el catálogo de ESRI también se puede usar la prioridad. Se aplica aceptar (OK).

Paso 5. Se genera el ráster de coberturas con clasificación supervisada. Este ráster nos muestra una paleta de colores para cada cobertura, que finalmente fue cambiada para asignar colores a las coberturas que corresponden a una interpretación más fácil y real.

Paso 6. Se guarda el Layer del ráster generado para compilar la carpeta de trabajo y tener la información para analizarla.

**Interpretación y clasificación visual:** *“La forma más intuitiva de extraer información de imágenes de satélite es mediante la interpretación visual, que está basada en la habilidad que presentan los humanos para relacionar tonos, colores y patrones espaciales que aparecen en una imagen con elementos del mundo real. Este tipo de interpretación se lleva a cabo mediante el análisis de las imágenes sobre las cuales se dibujan y delimitan los elementos y áreas de interés para la interpretación (unidades de coberturas, vegetación, de usos del suelo, geomorfológicas, litológicas, otras)”.* Para el estudio se realizó fotointerpretación y digitalización (Janssen, 2000) (Chuvieco, 2006).

A partir del material cartográfico seleccionado se realizó una interpretación y clasificación visual de detalle, mediante la cual se obtuvieron capas de polígonos vectoriales de las coberturas de la tierra para los cuatro tiempos 1956, 1977, 1998 y 2021. Adicionalmente, para el último tiempo año 2021 se realizaron visitas de campo de validación de coberturas durante los años 2020 y 2021, esto con el propósito de actualizar y precisar las coberturas existentes actualmente en el sector periurbano norte de Bogotá D.C. delimitado por la cuenca hidrográfica (García Meléndez, 2007) (IGAC, 2016). El análisis del cambio de las coberturas se realizó para los cuatro (4) tiempos. Se incluyeron salidas gráficas de transformación de coberturas para los siguientes seis (6) periodos (1956-1977) (1956-1998) (1956-2021) (1977-1998) (1977-2021) (1998-2021).

Para la identificación y clasificación de las coberturas se utilizaron los cuatro primeros niveles de la propuestos en la leyenda metodología Corine Land Cover (IDEAM, 2010) (**Figura 7**). Para la descripción detallada de cada unidad de cobertura se utilizó la leyenda desarrollada por la Secretaría Distrital de Ambiente -SDA de la Ciudad de Bogotá Colombia (2015), de acuerdo, a los lineamientos técnicos para el análisis de la Estructura Ecológica Principal – EEP del Distrito Capital (**Figura 8**). Esta leyenda se encuentra en la guía técnica de la SDA adoptada mediante Resolución 03201 de 2015 “*Por medio de la cual se adopta la Guía técnica Ambiental para el Alinderamiento de Corredores Ecológicos de ronda del Distrito Capital y se toman otras deermnaciones*”.

**Etapa 2: Determinación en campo de coberturas para la ventana de tiempo año 2021:** después de definir las unidades de cobertura y aplicando los “procedimientos de campo para la identificación y delineación de paisajes” propuestos por Villareal et al. (2004); se realizaron: recorridos de reconocimiento preliminar del terreno; observaciones generales y detalladas del paisaje con ajustes de líneas de fotointerpretación y validación; observaciones de usos del paisaje; observaciones de rasgos geomorfológicos; observación de unidades vegetales presentes. Con la información obtenida se verificó y validaron las unidades de cobertura actual. Para la localización se utilizó GPS de precisión (GARMIN Montana 650); posteriormente se sistematizó la información en el Software ArcGis 10.8.

LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - COLOMBIA	
<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>
<b>1.1. Zonas urbanizadas</b>	<b>3.1. Bosques</b>
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
<b>1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación</b>	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.2. Bosque abierto
1.2.4. Aeropuertos	3.1.2.1. Bosque abierto alto de tierra firme
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable
<b>1.3. Zonas de extracción minera y escombreras</b>	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	3.1.3. Bosque fragmentado
<b>1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas</b>	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.1.5. Plantación forestal
1.4.2. Instalaciones recreativa	<b>3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva</b>
<b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>	3.2.1.1. Herbazal denso
<b>2.1. Cultivos transitorios</b>	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2.1.2. Cereales	3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
2.1.4. Hortalizas	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
2.1.5. Tubérculos	3.2.1.1.2.3. Arracachal
<b>2.2. Cultivos permanentes</b>	3.2.1.1.2.4. Helechal
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2. Herbazal abierto
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
2.2.1.2. Caña	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
2.2.1.3. Plátano y banano	3.2.2.1. Arbustal denso
2.2.1.4. Tabaco	3.2.2.2. Arbustal abierto
2.2.1.5. Papaya	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
2.2.1.6. Amapola	<b>3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación</b>
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3.3.1. Zonas arenosas naturales
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	3.3.2. Afloramientos rocosos
2.2.2.2. Café	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
2.2.2.3. Cacao	3.3.4. Zonas quemadas
2.2.2.4. Viñedos	3.3.5. Zonas glaciares y nivales
2.2.2.5. Coca	<b>4. AREAS HÚMEDAS</b>
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	<b>4.1. Áreas húmedas continentales</b>
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	4.1.1. Zonas Pantanosas
2.2.3.2. Palma de aceite	4.1.2. Turberas
2.2.3.3. Citricos	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
2.2.3.4. Mango	<b>4.2. Áreas húmedas costeras</b>
2.2.4. Cultivos agroforestales	4.2.1. Pantanos costeros
2.2.5. Cultivos confinados	4.2.2. Salitral
<b>2.3. Pastos</b>	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
2.3.1. Pastos limpios	<b>5. SUPERFICIES DE AGUA</b>
2.3.2. Pastos arbolados	<b>5.1. Aguas continentales</b>
2.3.3. Pastos enmalezados	5.1.1. Ríos (50 m)
<b>2.4. Áreas agrícolas heterogéneas</b>	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
2.4.1. Mosaico de cultivos	5.1.3. Canales
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	<b>5.2. Aguas marítimas</b>
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	5.2.1. Lagunas costeras
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	5.2.2. Mares y océanos
	5.2.3. Estanques para acuicultura marina

**Figura 7.** Leyenda nacional de coberturas de la tierra adaptado para Colombia. IDEAM, 2010.

Clasificación de unidades de coberturas de acuerdo a lineamientos técnicos para el proceso de alinderamiento de los Corredores Ecológicos de Ronda y análisis de la EEP. Fuente: SER-SDA, 2015.

CATEGORÍA	SÍMBOLO	LEYENDA	DESCRIPCIÓN
BOSQUES	<b>B</b>	Bosque con vegetación nativa	Dosel arbóreo continuo caracterizado por vegetación nativa natural; bosques secundarios o con algún estado sucesional. También incluye bosques de vegetación nativa con o sin fragmentación.
	<b>Bp1</b>	Plantaciones forestales	Plantación Forestal con especies de origen exótico.
	<b>Bp2</b>		Plantación Forestal con especies de origen nativo
	<b>Br</b>	Bosque ripario	Bosques asociados a bordes de ríos, quebradas y/o canales.
	<b>Ms-B</b>	Misceláneo de Bosques	Dosel arbóreo continuo que presenta mezcla de bosques con vegetación nativa y Bosques plantados.
COBERTURAS CON DIFERENTES TIPOS DE VEGETACIÓN	<b>Mc</b>	Matorral cerrado	Dosel continuo dominado por especies de estrato arbustivo y/o subarbóreo.
	<b>Ma</b>	Matorral abierto	Matriz arbustiva; y/o subarbóreo con Parches herbáceos o desnudos.
	<b>H</b>	Herbazal	Cobertura de herbáceas de origen nativo y/o exótica
	<b>Ha</b>	Herbazal arbustivo	Matriz herbácea con arbustos dispersos.
	<b>Pn</b>	Pastos naturales	Cobertura herbácea continua de origen natural con predominancia de especies nativas
	<b>Pm</b>	Pastizal manejado	Cobertura herbácea continua de origen antrópico con manejo para fines agropecuarios
	<b>Ms-CuR</b>	Misceláneo de cultivos y rastrojos	Mezcla de coberturas de rastrojos y cultivos.
	<b>Cu</b>	Cultivos	Zonas de agricultura.
	<b>Zv-U</b>	Zonas verdes urbanas	Parques, separadores, canchas con vegetación, entre otras coberturas asociadas con baja densidad de dosel arbóreo.
	<b>Vac</b>	Vegetación de humedal	Coberturas vegetales asociadas a humedales naturales y/o artificiales de tipo urbano y/o rural de montaña y/o planicie.
OTRAS COBERTURAS	<b>Ca</b>	Cuerpo de agua	Cuerpo de agua léntico ó lótico (natural – artificial).
	<b>Zu1</b>	Zonas urbanizadas	Tejido urbano continuo.
	<b>Zu2</b>		Tejido urbano discontinuo.
	<b>E</b>	Eriales	Predominio sustrato desnudo producto de procesos erosivos naturales y/o artificiales del suelo.
	<b>Zm</b>	Zonas mineras	Zonas de extracción minera.
	<b>Zi</b>	Zonas industriales, comerciales y/o servicios	Zonas construidas para uso industrial, comercial y/o servicios (zonas francas, aeropuertos, centros comerciales, otros).
	<b>Zc</b>	Zonas en construcción	Zonas en procesos de desarrollo urbanístico.
	<b>Vs</b>	Vías	Corredores viales.

**Figura 8.** Clasificación de unidades de coberturas de acuerdo a lineamientos técnicos para el proceso de alinderamiento de los Corredores Ecológicos de Ronda y análisis de la EEP. Fuente: SER-SDA, 2015.

### 2.3. ANÁLISIS DE TIPO DE CAMBIO SEGÚN TRANSFORMACIÓN DE LAS COBERTURAS PARA TIEMPOS ANALIZADOS

#### **Etapa 3: Generación de cartografía multitemporal de coberturas:**

Se generaron análisis espaciales en el software ArcGis 10.8 para la determinación de transformaciones de coberturas entre el intervalo de los cuatro (4) tiempos analizados. Se elaboraron las leyendas definitivas para los mapas de unidades de coberturas en los tiempos analizados. Se realizó la digitalización de los polígonos en formato vector de coberturas vegetales y otras asociadas al paisaje del área de estudio en el programa Arc Gis 10.8.. Se incorporó la información a una GeoDataBase de Información Geográfica del área de estudio. Posteriormente, se calculó para cada tiempo, el tamaño de cada cobertura (área, perímetro, porcentaje de área ocupada por cada cobertura), número de polígonos de la misma cobertura.

Se realizó análisis multitemporal, el cual se enmarca en estudios espaciales realizados mediante la comparación de las coberturas interpretadas en imágenes de satélite, fotografías aéreas y orotofotos del área de estudio para los cuatro (4) tiempos definidos (1956-1977-1998-2021). Estos análisis permitieron evaluar los cambios de las coberturas clasificadas, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre este medio (Chuvieco, 1990). El análisis realizado constituye uno de los métodos más eficaces para la comparación y

determinación de cambios que acontecen en un rango de tiempo (Silva, 1999). Se utilizó la metodología de análisis multitemporal vectorial propuesta por (Franco, 2016). Para lo cual se utilizó el siguiente procedimiento:

**Paso 1:** se realizó una clasificación visual de coberturas de la cuenca hidrográfica Torca, para los tiempos 1956, 1977, 1998 y 2021. A partir de esta clasificación se generaron los shape file de cada tiempo como insumo de trabajo del análisis multitemporal. Para el análisis multitemporal de coberturas obtenidas a partir de la clasificación visual, se utilizó la herramienta de intersección del Software ArcGIS 10.8. según los postulados metodológicos propuestos por Franco (2016).

**Paso 2:** en el software ArcGIS 10.8 se generó el proyecto MDX Multitemporal torca en una carpeta de trabajo de los archivos. Se chequea para cada shape file de coberturas correspondientes a los tiempos analizados, la tabla de atributos identificando que se encuentran organizados los contenidos de coberturas, áreas y codificación de sigla de cada cobertura según la clasificación de la Leyenda Corine Land Cover para Colombia (IDEAM, 2010).

**Paso 3:** Se realiza una intersección entre las capas de coberturas para identificar cuáles son los sitios o áreas de cambio de coberturas entre los tiempos analizados y los periodos de tiempo generados por estos. Este proceso se realizó utilizando pares de capas según tiempos (1956-1977)(1977-1998)(1998-2021). Este procedimiento se realiza a través de la herramienta de ArcGIS – Geoprocessing – Intersect. Se cargaron los pares de capas de coberturas y se generó el archivo de salida de Intersección. Se generó el nuevo shape llamado intersección el cual contiene polígonos que muestran los cambios o diferencias entre los shape de cada una de los tiempos analizados.

**Paso 5:** Se genera la simbología para la capa de la ventana de tiempo más antigua del par de tiempos analizado. Esto se hace en las propiedades del shape – Symbology – categories – valor field – NIVEL 4. – AD ALL VALUES. Se genera la paleta de colores lo más adecuado a la Leyenda de la Tierra.

**Paso 6:** Se selecciona el shape coberturas del tiempo más reciente en propiedades – Symbology – Import – Layer (de simbología previamente generada), add – aceptar – ok, y el programa automáticamente le asigna a la capa la misma simbología de la leyenda de la capa más antigua del par temporal analizado.

**Paso 7:** Se procedió a habilitar la capa de Intercepto generada anteriormente, y se revisa la tabla de atributos para revisar la información generada. Se evidencia que se generaron nuevas columnas con información adicional producto del cruce de capas de los tiempos analizados. Se elimina con (delete field) una de las columnas de área (ha), para este caso se elimina la columna Cuenca Área (ha)\_1.

**Paso 8:** Se procede a generar un campo comparativo multitemporal así: utilizar la herramienta add field. Se calculó el campo generado en la columna, con la herramienta field calculator – VB Script con la siguiente ecuación:

[NIVEL\_3] & “ - “ & [NIVEL\_3\_1] , y se aplica OK en la herramienta field calculator aprta generar el procesamiento.

**Paso 9:** Se le asigna la simbología a la capa intercepto en la columna del ANTES1998\_LUEGO2021.

Integrando los postulados de Sancho et al. (1993) Silva (1999) Bernal y Prado (2015) (Veloza, 2017) Hernandez y Salamanca (2019) Bastidas y Naranjo (2020) se le asignó colores especiales a las áreas que presentaron transformaciones temporales de cobertura así: **Cambios negativos:** color rojo: cambio de coberturas naturales o permeables a coberturas artificializadas e impermeables. **Cambios positivos:** color verde: cambio de coberturas antrópicas o de usos económicos agropecuarios a coberturas seminaturales de herbazales, bosques abiertos y otras coberturas. **Cambios neutros:** color naranja: sin cambio.

**Paso 10:** Se generaron los cálculos de áreas, cantidad de polígonos para analizar resultados. Se selecciona en la tabla de atributos la columna Antes\_Luego. Y se aplica la herramienta de estadísticas y Summarize para la aplicación de estadísticos.

- En este paso se selecciona la variable de área (ha) y se seleccionan los estadísticos de área total; polígonos totales; Minimum; maximum; Average; Sum.

**Análisis espacial de transformación multitemporal de las coberturas:** Para cada tiempo analizado, se determinaron las coberturas; el cambio general de áreas; el cambio específico por tipo de coberturas, para con base en estos datos analizar la magnitud de transformación de coberturas naturales y artificializadas del territorio; así como, las áreas que no presentaron cambios. En el nivel dos (2) de la leyenda CLC que permite la agrupación de diferentes coberturas naturales y antrópicas específicas de los niveles más detallados de CLC (IDEAM, 2010), se determinaron las áreas y porcentajes de área de cada cobertura; la tendencia de cambio de cada cobertura según los tiempos analizados; la tasa de variación regular y porcentaje de cambio del área de las coberturas entre los tiempos; y, la variación de ganancias o pérdidas de cobertura entre los años extremos de tiempos de análisis años 1956 y 2021.

Con base en los cambios de las coberturas de la tierra en el tiempo identificados mediante el análisis multitemporal de transformación del territorio, se realizó la clasificación de tipos de cambios, evaluando las reducciones y aumentos de áreas que expresan espacialmente “la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio” (Chuvieco, 1990) (Sancho et al, 1993) (Silva, 1999) (Veloza, 2017). Este método permite relacionar los cambios con dinámicas de manejo y aprovechamiento del suelo en el territorio, para proponer y proyectar políticas públicas (Dale, 1997) (Flores et al., 2005); así mismo, permite analizar los cambios de coberturas en función de las presiones sobre el medio que cambian o mantienen la calidad y la cantidad de recursos naturales o atributos ecológicos (DGAEA, 1996) (Lambin et al., 1999), generando condiciones de estabilidad, de deterioro o de ganancia de las características del territorio con relación a los usos del suelo (Bernal y Prado, 2015) (Hernandez & Salamanca, 2019) (Bastidas y Naranjo, 2020).

Para la clasificación se determinaron tres (3) grupos de tipos de cambios. **Cambio positivo:** Determinado por áreas donde la cobertura inicial cambió a coberturas con mayores atributos ambientales y ecológicos (Pastos Limpios a Pastos Enmalezados; Mosaico de pastos y cultivos a Bosques riparios, pastos limpios a bosque ripario; pastos limpios a vegetación acuática sobre cuerpos de agua; pastos limpios a bosques plantados de restauración; pastos limpios a herbazales inundables); **Cambio negativo:** Determinado por áreas donde la cobertura inicial cambió a coberturas con menores atributos ambientales y ecológicos (Vegetación acuática sobre cuerpos de agua a pastos limpios; Pastos arbolados a tejido urbano discontinuo; Bosques riparios a pastos limpios; mosaicos de espacios naturales cultivo y pastos a tejido urbano continuo, Pastos enmalezados a aeropuerto); **Cambio neutro:** Determinado por áreas donde la cobertura inicial cambió a coberturas con similar condición de atributos sin representar una adicionalidad en términos ambientales y ecológicos o de artificialización del territorio (Tejido urbano continuo a zona comercial e industrial; pastos limpios a cultivos transitorios; entre otros casos). Los diferentes casos relacionan en las tablas de atributos obtenidas a partir del análisis multitemporal vectorial realizado y que se encuentra en los shape generados de cada tiempo (Franco, 2016).

- **Análisis estadístico de transformación de coberturas**

Con base en los resultados de unidades de coberturas se realizó el análisis estadístico, para determinar los cambios cuantitativos de las diferentes coberturas con respecto a los tiempos; como insumo para analizar las tendencias del cambio en el tiempo. Para el cálculo y análisis de la transformación del territorio, se utilizaron los atributos de cobertura de detalle para los niveles dos (2) y cuatro (4) de la leyenda Corine Lan Cover CLC.

Se calcularon los porcentajes de las coberturas, de su transformación; y, se calculó la tasa de variación regular o relativa anual o cambio en porcentaje entre dos valores; utilizada para obtener porcentajes de incrementos y decrecimiento de valores con relación a diferentes registros temporales Pliego F.J. (2004). Para calcular la tasa de variación, se utilizaron los valores absolutos de las coberturas para los diferentes años analizados. El cálculo de la TVR tiene la ventaja que representa y permite para medir las variaciones de modo más preciso, por ser adimensional, lo que permite realizar comparaciones muy confiables entre series de datos temporales (Pliego, F.J., 2004).

$$TVR\% = \left( \frac{Y_t - Y_{t-n}}{Y_{t-n}} \right) * 100$$

Pliego, F.J., 2004.

- **Análisis de componentes principales ACP**

El **ACP** realizado, fue utilizado como complemento del análisis multitemporal, con el propósito de evidenciar los tipos de coberturas que más representaron cambio en el tiempo y el comportamiento de la dinámica de cambio del territorio entre los tiempos analizados, para establecer en que tiempos se presentó en mayor magnitud esta transformación territorial. Es así, que, si bien el ACP trabajó con la variable cobertura, se utilizaron los tipos de cobertura como subvariables específicas dentro del análisis, determinando los tipos de coberturas y tiempos que representaron mayor cambio en el periodo analizado. Así las cosas, el alcance del análisis ACP realizado, fue generado y utilizado únicamente como complemento de los análisis multitemporales realizados, y como método estadístico que agrega un insumo adicional que es coincidente y correspondiente con los resultados obtenidos del análisis multitemporal.

A partir de los datos y resultados obtenidos, y según las características de los datos cuantitativos obtenidos se realizó un **Análisis de Componentes Principales ACP** mediante el cual se validó estadísticamente la significancia e influencia y correlación de las coberturas para los niveles 2 y 4 de la leyenda Corine Land Cover CLC con relación a los cuatro (4) tiempos analizados. Este análisis se realizó utilizando el Software “SPSS Statistics V.26”. Este análisis estadístico permitió obtener la matriz de proximidades de correlación de Pearson mediante la cual se identificaron las coberturas de mayor correlación, así como, con mayor y menor influencia en la transformación del territorio de la cuenca hidrográfica. Así mismo, aquellas coberturas con mayor cambio o pérdida de área con respecto a los periodos de tiempo analizados.

Se utilizó el método de **análisis de componentes principales ACP** dado que es una técnica estadística de síntesis de la información o reducción de la dimensión de variables (número de variables); cuyo objetivo es reducir a un menor número de variables perdiendo la menor cantidad de información posible y logrando la mayor confianza y representación estadística de los resultados. En la investigación se incluyó como un análisis complementario que permitiera evidenciar las relaciones entre las coberturas y los tiempos analizados; para identificar cuales coberturas y años de estudio se encuentran más cerca de la media y cuáles registraron mayor distancia debido a la diferencia de cambio temporal de su área.

Los componentes principales son una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí. Un aspecto significativo del ACP es la interpretación de los factores, ya que ésta no viene dada a priori, sino que se determinó a través de la relación de los factores con las variables iniciales y la interpretación del signo y magnitud de las correlaciones. A partir del Análisis de Componentes Principales ACP se calculó y analizaron los siguientes aspectos relacionados con este estadístico: a) Matriz de proximidades de Pearson; b) Matriz de correlaciones de coberturas en los niveles 2 y 4 de la leyenda CLC en función de los tiempos; c) Síntesis de comunalidades; d) relación de varianza explicada para los componentes principales identificados mediante método de extracción; e) gráficos de sedimentación de los Componentes Principales; f) Matriz de componentes extraídos; g) Gráfico de distribución de coberturas y componentes principales; h) Matriz de coeficiente de puntuación de componente; i) matriz de covarianzas; j) el esquema de dispersión agrupada por cobertura y temporalidad analizada. El diseño estadístico se ajustó de acuerdo con las necesidades del proyecto de investigación y las características de los datos obtenidos maximizando su aprovechamiento, así como uso y análisis óptimo de la información obtenida.

Dentro de los resultados generados para este propósito de la investigación se generan los siguientes productos: a) Resultados y análisis cuantitativo y cualitativo de los resultados obtenidos de la fotointerpretación para identificación de unidades de cobertura; b) Mapa final por cada uno de los tiempos analizados, donde se incluyan las unidades de cobertura identificadas a partir de la clasificación de coberturas; dinámicas de cambio entre periodos de tiempo analizados y coberturas con mayor significancia de transformación e incidencia en el territorio; c) Análisis estadístico relacionado con los grupos de datos multitemporales obtenidos, matrices de proximidad y correlación determinando la influencia de cambio de las diferentes coberturas a través del tiempo con respecto al total del área de estudio.

**Etapas 4: Elaboración de línea de tiempo de hitos relevantes en la transformación y uso de la tierra en la cuenca tierra para el periodo 1956-2021:** A partir de los resultados obtenidos y los cuatro (4) tiempos analizados, se realizó una búsqueda y análisis documental de información secundaria en archivos físicos y digitales de proyectos, intervenciones, acciones estratégicas, actos administrativos y otras decisiones que se relacionan con la transformación y los motores de cambio de las coberturas y usos de la tierra en la cuenca hidrográfica.

La información se obtuvo a fuentes institucionales oficiales de entidades ambientales como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, la Secretaría Distrital de Ambiente SDA y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR; repositorios académicos e informes institucionales de estudios urbanos y ambientales realizados para el territorio el norte de Bogotá D.C. de universidades como la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá; Universidad Antonio Nariño, Pontificia Universidad Javeriana, Secretaría Distrital de Planeación SDP. Se incluyó información jurídica relacionada con normatividad (Decretos, Resoluciones) políticas urbanísticas y de conservación determinantes en la evolución del borde norte de Bogotá.

La línea de tiempo elaborada, fue utilizada en el análisis y discusión de los resultados como insumo cualitativo que sirvió de contexto y referencia de los momentos y transformaciones de cambio identificadas en los resultados cuantitativos obtenidos del análisis multitemporal y de conectividad ecológica.

## 2.4. ANÁLISIS DE PAISAJE Y CONECTIVIDAD ESTRUCTURAL

**Determinación del sistema de procesamiento y cálculo de métricas de paisaje:** Para la determinación de la conectividad estructural y estructura del paisaje en los cuatro (4) tiempos seleccionados se utilizarán los postulados propuestos por Turner G et al. (1999; 2003) en “Landscape ecology in theory and practice pattern and process”, y los fundamentos de ecología del paisaje desarrollados por Forman (1986) Marull y Mallarach (2002) Vila et al. (2006) Mc Garrigal (2012), que hacen referencia a la evaluación de los patrones espacio temporales del paisaje (composición y configuración) por medio de métricas del paisaje. Además, según Gustafson (1998) estas métricas permiten la comparación de la transformación del paisaje en el tiempo y la prospectiva de las dinámicas de cambio del mismo. Como configuración específica del paisaje, el análisis de la conectividad estructural incluyó métodos cuantitativos mediante procedimientos de análisis espacial del paisaje “índices de paisaje – landscape metrics”; los cuales aportaron datos cuantificables de esta configuración del paisaje, las coberturas y distribución de los parches, los corredores, la matriz que conforman el mosaico en cada tiempo.

El cálculo de métricas del paisaje se desarrolló a partir del software Fragstat 4.2., el cual fue desarrollado en Estados Unidos por Mc.Garrigal y Marks en 1995. Este programa permite realizar con diversos, robustos y amplios cálculos de métricas del paisaje utilizando como soporte de análisis el formato Raster. De acuerdo con los lineamientos definidos por McGarrigal y Marks (1995) Vila et al. (2006) y con base en la información espacial obtenida de los diferentes tiempos analizados, se aplicó a todas las coberturas la cuantificación de métricas a los siguientes niveles de integración de los elementos del paisaje:

- **Nivel de fragmento (patch level).** Los cálculos se aplican a cada fragmento individualmente; en este nivel se determinan los fragmentos con mayor o menor superficie entre todos los representados.
- **Nivel de clase (class level).** Los cálculos se aplican a cada conjunto de fragmentos de la misma clase, es decir, a aquéllos que tienen el mismo valor o que representan el mismo tipo de uso del suelo, hábitat, u otro atributo. Es el nivel apropiado para calcular cuales la superficie que ocupa una determinada cobertura del suelo, como podrían ser los bosques, o cual es la extensión media ocupada por los fragmentos de bosque.
- **Nivel de paisaje (landscape level).** Los cálculos se aplican al conjunto del paisaje, es decir, a todos los fragmentos y clases a la vez. El resultado nos informa del grado de heterogeneidad o de homogeneidad del conjunto del área que se ha cuantificado.

Estos niveles permiten analizar si existen regularidades en la forma y área que los fragmentos y las coberturas ocupan el espacio de estudio.

**FRAGSTATS:** Programa de análisis de patrones espaciales para mapas categóricos: “FRAGSTATS es un programa de software diseñado para calcular una amplia variedad de métricas de paisaje para patrones de mapas categóricos. El software original (versión 2) fue lanzado al dominio público durante 1995 en asociación con la publicación de un Informe Técnico General del Servicio Forestal del USDA (McGarigal y Marks 1995). La última versión (versión 4) refleja una importante renovación del software, con una arquitectura completamente rediseñada destinada a admitir la adición de métricas a nivel de celda y métricas de patrones de superficie, entre otras cosas. La versión actual de la versión 4 (v4.2).”

**Medición cuantitativa de categoría e índices del paisaje para los cuatro tiempos analizados 1956-1977-1998-2021:** Para la cuantificación de las métricas del paisaje se integraron categorías y sus respectivos índices que las componen y que han sido validadas por McGarigal y Marks (1995) Vila et al. (2006), e incluidos dentro de los cálculos aplicables al Software libre “Fragstats”.

Específicamente el procedimiento se realizó de la siguiente manera:

- **Procedimiento 1:** A partir de la capa de origen correspondiente a los shape de coberturas de la tierra obtenidas mediante la clasificación supervisada e interpretación visual, las cuales fueron clasificadas bajo la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia IDEAM, 2010, se selecciona la capa vector y utilizando la herramienta “polygon to raster” se **generó la capa tipo raster con extensión .TIF** de las coberturas de estudio para ser incorporada en el procesamiento del software Fragstat.4.2.
- **Procedimiento 2: Generación de descriptores:** Se generó la matriz de descriptores según como lo indica la metodología del manual aplicativo a Fragstats.4.2. Esta matriz es la base para integrar la capa rasterizada y sus atributos al software fragstats.4.2. (Figura 9).

Nombre	Fecha de modificación	Tipx	ID, Name, Enabled, IsBackground
DESCRIPTORES_COVERTORCAN2TESIS	24/06/2021 1:46 p. m.	Doc	1,ZONAS URBANIZADAS,t,f
MATRIZ_CONTRASTE_TORCA_2021	3/09/2021 10:08 a. m.	Hoj	2,ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS NO AGRICOLAS,t,f
MATRIZ_CONTRASTE_TORCAN2TESIS	24/06/2021 2:59 p. m.	Doc	3,ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACIÓN,t,f
			4,AREAS HUMEDAS CONTINENTALES,t,f
			5,PASTOS,t,f
			6,BOSQUES,t,f
			7,AREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS,t,f
			8,CULTIVOS PERMANENTES,t,f
			9,AREAS CON VEGETACION HERBACEA Y_O ARBUSTIVA,t,f
			10,ZONAS DE EXTRACCION MINERA Y ESCOMBRERAS,t,f
			11,AGUAS CONTINENTALES,t,f
			12,AREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACION,t,f
			13,CULTIVOS TRANSITORIOS,t,f
			14,999, Background,f,t

Figura 9. Matriz de descriptores métricas de paisaje.

- **Procedimiento 3: Generación de la matriz de contraste:** Se generó la matriz de contraste para las coberturas del nivel dos (2) de CLC, para contar con un nivel que permitiera agrupar coberturas específicas de clases más detalladas. Esta matriz se utiliza para establecer una diferencia ponderada entre las diferentes coberturas de la capa a utilizar (Figura 10).

Nombre	Fecha de modificación	Tipx	FSQ_TABLE
DESCRIPTORES_COVERTORCAN2TESIS	24/06/2021 1:46 p. m.	Doc	CLASS_LIST_NUMERIC(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 999)
MATRIZ_CONTRASTE_TORCA_2021	3/09/2021 10:08 a. m.	Hoj	0.0.8.0.1.1.1.1.1.1.1.0.5.1.1.1.1
MATRIZ_CONTRASTE_TORCAN2TESIS	24/06/2021 2:59 p. m.	Doc	0.8.0.1.0.7.0.2.0.9.0.6.0.8.0.6.1.0.4.0.4.0.8.1
			0.1.1.0.1.1.1.1.1.1.0.9.1.1.1.1
			1.0.7.1.0.0.4.0.25.0.6.0.8.0.6.1.0.1.0.4.0.8.1
			1.0.2.1.0.4.0.0.9.0.6.0.6.0.7.1.0.9.0.3.0.4.1
			1.0.9.1.0.25.0.9.0.0.9.0.9.0.6.1.0.9.0.9.0.9.1
			1.0.6.1.0.6.0.6.0.9.0.0.2.0.6.1.1.0.8.0.2.1
			1.0.8.1.0.8.0.6.0.9.0.2.0.0.8.1.1.0.9.0.1.1
			1.0.6.1.0.6.0.7.0.6.0.6.0.8.0.1.1.0.8.1.1
			0.5.1.0.9.1.1.1.1.1.1.0.1.1.1.1
			1.0.4.1.0.1.0.9.0.9.1.1.1.1.0.1.1.1
			1.0.4.1.0.4.0.3.0.9.0.8.0.9.0.8.1.1.0.0.9.1
			1.0.8.1.0.8.0.4.0.9.0.8.0.1.1.1.1.0.9.0.1
			1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.0

Figura 10. Matriz de contraste.

- **Procedimiento 4: Inclusión de información en el software Fragstats.4.2. y métricas de paisaje incorporadas al procesamiento:** Se generó el procesamiento y utilizaron las siguientes métricas de paisaje a sí:

- Inclusión de la capa en el icono Input Layers (Automáticamente activa la capa en programa)
- En el icono Class descriptors se incorpora la “Matriz de descriptores” previamente elaborada a través del Browse.
- En el icono Edge contrast se incorpora la “Matriz de contraste” previamente elaborada a través del Browse.
- En el icono Analysis parameters se activa la herramienta de métricas ubicada en la primera sección izquierda.
- En cada uno de los iconos Patch metrics – Class metrics – Landscape metrics se seleccionan las métricas de interés.

En el análisis se incluyeron las siguientes métricas calculadas a partir de Fragstats.4.2. (Tabla 3):

**Tabla 3. Métricas de paisaje calculadas a partir de Fragstats.4.2.**

NIVEL DE ANÁLISIS	COMPONENTE	MÉTRICA	Descripción	
PATCH metrics	Área - Edge	Patch área (AREA)	AREA es igual al área (m2) del parche, dividido por 10.000 (para convertir a hectáreas).	
		Patch Perimeter	PERIM es igual al perímetro (m) del parche, incluyendo cualquier interior agujeros en el parche.	
		Radius of Gyration (GYRATE)	GYRATE es igual a la distancia media (m) entre cada celda en el parche y el centroide del parche. GYRATE $\geq 0$ , sin límite. GYRATE = 0 cuando el parche consta de una sola celda y aumenta sin límite a medida que el parche aumenta en extensión. GYRATE alcanza su valor máximo cuando el parche comprende todo el paisaje.	
	Shape	Shape Index (SHAPE)	FORMA es igual al perímetro del parche (m) dividido por la raíz cuadrada del parche superficie (m2), ajustado por una constante para ajustar un estándar circular (vector) o cuadrado estándar (ráster).	
		Fractal Dimension Index (FRAC)	FRAC es igual a 2 veces el logaritmo del perímetro del parche (m) dividido por el logaritmo del área del parche (m2); la fórmula ráster se ajusta para corregir la sesgo en el perímetro (Li 1990).	
	Contrast	Edge Contrast Index (ECON)	ECON es igual a la suma de las longitudes de los segmentos del perímetro del parche (m) multiplicada por sus pesos de contraste correspondientes, divididos por el perímetro total del parche (m), multiplicado por 100 (para convertir a un porcentaje). Segmentos de borde a lo largo del paisaje los límites se tratan como fondo (como se especifica en el archivo de peso de contraste de borde. $0 \leq \text{ECON} \leq 100$ ECON = 0 si el paisaje consta de solo 1 parche y el límite del paisaje consta de todo el fondo (es decir, en ausencia de un borde) y tiene un peso de contraste cero ( $d = 0$ ). Además, ECON = 0 cuando todo el perímetro del parche Los segmentos involucran adyacencias de tipo parche a las que se les ha dado un contraste cero peso en el archivo de peso de contraste de borde. ECON = 100 cuando el parche completo el perímetro es el borde de máximo contraste ( $d = 1$ ). ECON < 100 cuando una parte de la el perímetro del parche es menor que el borde de máximo contraste ( $d < 1$ ).	
	Aggregation	Euclidean Nearest-Neighbor Distance (ENN)	ENN es igual a la distancia (m) al parche vecino más cercano del mismo tipo, basado en la distancia más corta de borde a borde. Tenga en cuenta que las distancias de borde a borde son de centro celular a centro celular. ENN > 0, sin límite. ENN se acerca a 0 a medida que disminuye la distancia al vecino más cercano. El ENN mínimo está limitado por el tamaño de la celda y es igual al doble del tamaño de la celda, cuando se usa la regla del parche de 8 vecinos o la distancia entre la diagonal vecinos cuando se utiliza la regla de los 4 vecinos. El límite superior está limitado por la extensión del paisaje. ENN no está definido y se reporta como "N/A" en el "basename".patch archivo si el parche no tiene vecinos (es decir, no hay otros parches de la misma clase).	
		Proximity Index (PROX)	PROXIM es igual a la suma del área del parche (m2) dividido por el más cercano, distancia de borde a borde al cuadrado (m2) entre el parche y el parche focal de todos parches del tipo de parche correspondiente cuyos bordes están dentro de una distancia especificada (m) del parche focal. Cuando el búfer de búsqueda se extiende más allá del paisaje límite, sólo los parches contenidos dentro del paisaje se consideran en el cálculo. PROX = 0 si un parche no tiene vecinos del mismo tipo de parche dentro del especificado radio de búsqueda. PROX aumenta a medida que el vecindario (definido por el especificado radio de búsqueda) está cada vez más ocupado por parches del mismo tipo y como aquellos los parches se vuelven más cercanos y contiguos (o menos fragmentados) en distribución. El límite superior de PROX se ve afectado por el radio de búsqueda y el mínimo distancia entre parches.	
	CLASS metrics	Área - Edge	Total Area (CA/TA)	CA es igual a la suma de las áreas (m2) de todos los parches del correspondiente tipo de parche, dividido por 10.000 (para convertir a hectáreas); es decir, el área total de la clase.
			Percentage of Landscape (PLAND)	%SUELO es igual a la suma de las áreas (m2) de todos los parches del tipo de parche correspondiente, dividido por el área total del paisaje (m2), multiplicado por 100 (hasta convertir a un porcentaje); en otras palabras %LAND es igual al porcentaje que comprende el paisaje del tipo de parche correspondiente. Tenga en cuenta que %LAND es equivalente a LSIM a nivel de parche.
Largest Patch Ondex (LPI)			LPI es igual al área (m) del parche más grande del tipo de parche correspondiente 2 dividido por el área total del paisaje (m), multiplicado por 100 (para convertir a 2 porcentaje); en otras palabras, LPI es igual al porcentaje del paisaje comprendido por el parche más grande. Tenga en cuenta que el área total del paisaje (A) incluye cualquier fondo presente. $0 < \text{LPI} \leq 100$ LPI se acerca a 0 cuando el parche más grande del tipo de parche correspondiente es cada vez más pequeño. LPI = 100 cuando todo el paisaje consta de un solo parche del tipo de parche correspondiente; es decir, cuando el parche más grande comprende el 100% del paisaje	
Shape		Perimeter Area Fractal Dimension (PAFRAC)	PAFRAC es igual a 2 dividido por la pendiente de la línea de regresión obtenida por regresión el logaritmo del área del parche (m) contra el logaritmo del perímetro del parche (m). 2. Es decir, 2 dividido por el $\text{coe } 1/b$ eficiente derivada de un ajuste de regresión de mínimos cuadrados 0 1 a la siguiente ecuación: $\ln(\text{área}) = b + b^{-1} * \ln(\text{perim})$ . Nota, PAFRAC excluye cualquier parche de fondo. $1 \leq \text{PAFRAC} \leq 2$ Una dimensión fractal mayor que 1 para un mosaico de paisaje bidimensional indica una desviación de una geometría euclidiana (es decir, un aumento en la forma del parche complejidad). PAFRAC se aproxima a 1 para formas con perímetros muy simples como como cuadrados y se aproxima a 2 para formas con relleno de planos muy intrincados. Perímetros. PAFRAC emplea técnicas de regresión y está sujeto a pequeñas problemas de muestra. Específicamente, PAFRAC puede exceder en gran medida el rango teórico en valores cuando el número de parches es pequeño (por ejemplo, <10), y su uso debe ser evitado en tales casos. Además, PAFRAC requiere	

**Tabla 3. Métricas de paisaje calculadas a partir de Fragstats.4.2.**

NIVEL DE ANÁLISIS	COMPONENTE	MÉTRICA	Descripción
	Contrast		que los parches varíen en tamaño. Por lo tanto, PAFRAC no está definido y se notifica como "N/A" en el archivo "basename".class si todos los parches son del mismo tamaño o hay < 10 parches.
		Total Edge contrasty Index (TECI)	TECI es igual a la suma de las longitudes (m) de cada segmento de borde que involucra el tipo de parche correspondiente multiplicado por el peso de contraste correspondiente, dividido por la suma de las longitudes (m) de todos los segmentos de borde del mismo tipo, multiplicado por 100 (para convertirlo en porcentaje). En el numerador, si un borde horizontal es presente, todos los segmentos de borde a lo largo del límite del paisaje que involucran el correspondiente tipo de parche se tratan de acuerdo con sus pesos de contraste de borde como se indica en el archivo de peso de contraste. Si no hay un borde del paisaje, todos los segmentos del límite del paisaje que involucran el tipo de parche correspondiente se les asigna el peso de contraste de borde especificado por el usuario. Esto es equivalente a tratar la especificada proporción de todos los segmentos del borde del límite que involucran el tipo de parche correspondiente como borde de contraste máximo y el resto como borde de contraste cero. Independientemente de ya sea que haya o no un borde horizontal, a todos los segmentos de borde de fondo que involucran el tipo de parche correspondiente se les asigna el peso de contraste de borde especificado por el usuario. Nuevamente, tenga en cuenta que esto es equivalente a tratar la proporción especificada de todos los segmentos de borde de fondo que involucran el tipo de parche correspondiente como borde de contraste máximo y el resto como borde de contraste cero. En el denominador, todas las aristas que involucran el tipo de parche correspondiente, incluidos el límite del paisaje y los segmentos del borde de fondo, independientemente de si representan el borde real o no, o cómo el usuario elige manejar los límites y los bordes de fondo.
	Aggregation	Euclidean Nearest Neighbor Distance (ENN)	ENN es igual a la distancia (m) al parche vecino más cercano del mismo tipo, basado en la distancia más corta de borde a borde. Tenga en cuenta que las distancias de borde a borde son de centro celular a centro celular. ENN > 0, sin límite. ENN se acerca a 0 a medida que disminuye la distancia al vecino más cercano. El ENN mínimo está limitado por el tamaño de la celda y es igual al doble del tamaño de la celda, cuando se usa la regla del parche de 8 vecinos o la distancia entre la diagonal vecinos cuando se utiliza la regla de los 4 vecinos. El límite superior está limitado por la extensión del paisaje. ENN no está definido y se reporta como "N/A" en el "basename".patch archivo si el parche no tiene vecinos (es decir, no hay otros parches de la misma clase).
		Proximity Index (PROX)	PROXIM es igual a la suma del área del parche (m <sup>2</sup> ) dividido por el más cercano, distancia de borde a borde al cuadrado (m <sup>2</sup> ) entre el parche y el parche focal de todos parches del tipo de parche correspondiente cuyos bordes están dentro de una distancia especificada (m) del parche focal. Cuando el búfer de búsqueda se extiende más allá del paisaje límite, sólo los parches contenidos dentro del paisaje se consideran en el cálculo. PROX = 0 si un parche no tiene vecinos del mismo tipo de parche dentro del especificado radio de búsqueda. PROX aumenta a medida que el vecindario (definido por el especificado radio de búsqueda) está cada vez más ocupado por parches del mismo tipo y como aquellos los parches se vuelven más cercanos y contiguos (o menos fragmentados) en distribución. El límite superior de PROX se ve afectado por el radio de búsqueda y el mínimo distancia entre parches.
		Connectance Index (CONNECT)	CONNECT es igual al número de uniones funcionales entre todos los parches del tipo de parche correspondiente (suma de $c_{ijk}$ donde $c = 0$ si el parche $j$ y $k$ no están dentro $jk$ la distancia especificada entre $s$ y $c = 1$ si el parche $j$ y $k$ están dentro de la distancia especificada), dividido por el número total de uniones posibles entre todos parches del tipo de parche correspondiente, multiplicado por 100 para convertirlo en un porcentaje. CONNECT = 0 cuando la clase focal consiste en un solo parche o ninguno de ellos los parches de la clase focal están "conectados" (es decir, dentro del especificado por el usuario distancia umbral de otro parche del mismo tipo). CONECTAR = 100 cuando cada parche de la clase focal está "conectado".
		Number Patch (NP)	NP es igual al número de parches del tipo de parche correspondiente (clase). NP mayor que 1, sin límite. NP = 1 cuando el paisaje contiene solo 1 parche.
	LANDSCAPE metrics	Diversidad	Shannon's Diversity Index (SHDI)
Simpson's Diversity (SIDI)			SIDI es igual a 1 menos la suma, en todos los tipos de parche, de la proporcional abundancia de cada tipo de parche al cuadrado. SIDI = 0 cuando el paisaje contiene solo 1 parche (sin diversidad). Enfoques SIDI 1 a medida que aumenta el número de diferentes tipos de parches (riqueza de parches, PR) y el la distribución proporcional del área entre los tipos de parches se vuelve más equitativa.

- **Procedimiento 5:** Una vez seleccionadas las métricas a calcular, se realizó el **procesamiento para el cálculo de los índices de parche, clase y paisaje definidos**. Los resultados se analizaron en función del contexto territorial aplicando la metodología definida en el manual explicativo de las métricas de paisaje de Fragstat.4.2.

- **Proyección espacial de propuesta de mejoramiento de conectividad estructural del paisaje**

- Se realizó una propuesta espacial de áreas conectadas espacialmente que generan una red multifuncional y multidireccional para mejorar la conectividad estructural del paisaje en el área de estudio. Esta propuesta se proyectó a partir de los siguientes insumos de la investigación y criterios de análisis espacial:
- Resultados y capas shape generadas como resultado del análisis multitemporal para los cuatro tiempos 1956 – 1977 – 1998 – 2021.
- Mapa de coberturas actuales generado para el tiempo 2021 incluyendo las coberturas naturales y seminaturales con atributos ecológicos, agropecuarias con atributos ecológicos (pastos arbolados, pastos enmalezados, pastos limpios, mosaicos de pastos cultivos y espacios naturales; mosaicos de espacios naturales y pastos; mosaicos de pastos y espacios naturales, superficies de agua, áreas húmedas) y de

zonas verdes no agrícolas. Se integraron al análisis de la propuesta las coberturas que registraron mejor índice de conectividad y proximidad entre parches de la misma clase.

- Capas oficiales del sistema hídrico dentro del área de estudio (ríos, quebradas, canales, vallados, cuerpos de agua naturales (humedales) y artificiales (reservorios, lagos clubes campestres)).
- Capas oficiales de los elementos de la Estructura Ecológica Principal EEP del Distrito Capital (áreas protegidas nacionales, regionales, distritales, estrategias de conservación, rondas hídricas, otras figuras de manejo de conservación del suelo de protección) dentro del área de estudio definidos en el Decreto 555 de 2021 “Por el cual se adopta la revisión general al Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá” que ratificó y amplió áreas definidas en el Decreto 190 de 2004 (sin vigencia).
- Delimitación actual de áreas de importancia para la conectividad hídrica superficial y conservación hidrogeológica y del recurso hídrico del norte del Distrito Capital definidas por SDA 2018 - 2021.
- Propuesta de conectividad para el norte de Bogotá identificada por Chisacá, Remolina y Secretaría Distrital de Planeación SDP (2007).
- Propuesta de conectividad ecológica de la Reserva Regional Forestal Productora del Norte Thomas van der Hammen (CAR, 2014).

Con base en los análisis multitemporales de transformación de las coberturas y el análisis de las métricas de paisaje calculadas para los cuatro tiempos 1956-1977-1998-2021, se formularon recomendaciones orientadas a mejorar los procesos de conservación de los ecosistemas y la continuidad espacial de coberturas con atributos ecológicos y presencia de ecosistemas en el territorio norte de Bogotá cuenca hidrográfica Torca.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. TRANSFORMACIÓN DE LAS COBERTURAS EN LOS TIEMPOS AÑOS 1956 – 1977 – 1998 – 2021

Para la zona de estudio encontraron los siguientes tipos de coberturas: **1.** Territorios artificializados; **2.** Territorios agrícolas; **3.** Bosques y áreas seminaturales; **4.** Áreas húmedas; **5.** Superficies de agua (**Figura 7**) (**Tabla 4**). En el **año 1956** se identificaron 24 coberturas dentro de las cuales las predominantes fueron Mosaicos de pastos y cultivos (MS\_PCu), Pastos limpios (PL), Bosques densos de tierra firme (BD\_ATF), Pastos arbolados (PA), áreas húmedas continentales de humedal (AHC\_VegAcuat); estas aumentaron en el **año 1977** donde se registraron 29 coberturas dentro de las cuales las más sobresalientes fueron Mosaicos de pastos y cultivos (MS\_PCu), Pastos limpios (PL) Bosques densos de tierra firme (BD\_ATF), Pastos arbolados (PA), Zonas verdes recreativas institucionales (ZV\_RecInst); para los tiempos de los **años 1998 y 2021** se registró un aumento identificando 40 coberturas dentro de las cuales las más predominantes fueron Tejidos urbanos continuos (ZU\_TUC), Bosques densos de tierra firme (BD\_ATF), Mosaicos de pastos y cultivos (MS\_PCu), pastos limpios (PL), cultivos transitorios (Cu\_T) (**Figuras 11 y 12**) (**Tabla 4**) (**Anexo 1**). Esta misma tendencia se encontró respecto al número total de polígonos que aumentó en el tiempo **año 1956** 241 polígonos; **año 1977** 375 polígonos; **año 1998** 398 polígonos; **año 2021** 453 polígonos. Este dato general, expresa que los tiempos más recientes 1998 – 2021 tiene mayores valores de polígonos lo que indica mayor heterogeneidad y división de coberturas en la cuenca. (**Figuras 11 y 12**).

Para el área total de estudio se determinó que el cambio de coberturas entre los años **1956 y 2021** estuvo representada con ganancias y pérdidas de tipos de coberturas así (**Tabla 4**):

Las coberturas de **Bosques** pasaron de ocupar el **19,59%** en 1956 a un **20,89%** en 2021; **Aguas continentales** aumentaron del **0,73%** en el año 1956 al **1,75%** en el año 2021. Las **Zonas urbanizadas** aumentaron del **1,49%** del área en el año 1956 a un **23,6%** en el año 2021: los **tejidos urbanos continuos** aumentaron de no estar presentes en el año 1956 (0%) a ocupar el **17,37%** en el año 2021; las **zonas industriales, comerciales y de redes de comunicación** aumentaron de un **2,18%** en el año 1956 a un **4,10%** en el año 2021. Las **zonas verdes artificializadas no agrícolas** aumentaron del **0,03%** en el año 1956 a un **8,58%** en el año 2021. **Cultivos permanentes** pasaron del 0% del área en el año 1956 a un **3,41%** en el año 2021; cultivos transitorios pasaron de ocupar el **11,64%** en el año 1956 al **12,77%** en el año 2021.

Dentro de las coberturas que redujeron su área están las **Áreas Húmedas Continentales** con vegetación acuática sobre cuerpos de agua (AHC-VegAcuat) asociadas a ecosistemas lénticos de humedal que pasaron de ocupar el **8,95%** del territorio en el año 1956 a un **1,53%** en el año 2021. Las **áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva** redujo pasando de ocupar el **3,97%** en el año 1956 a un **1,44%** en el año 2021. Los **territorios agrícolas** representados en coberturas como: **Pastos** pasaron de ocupar el **31,83%** en el año 1956 a un **9,18%** en el año 2021. **Áreas agrícolas heterogéneas** pasaron de ocupar el **18,37%** en el año 1956 a un **12,14%** en el año 2021. **Zonas de extracción minera y escombrera (ZME-Min)** redujeron su área pasando de un **1,23%** en el año 1956 a un **0,46%** en el año 2021.

Las coberturas que más registraron cambios en el periodo de tiempo analizado fueron: **Bosques** pasaron de ocupar el 19,59% en el año 1956 a un 20,89% en el año 2021, registrando un aumento porcentual del **1,3%** y un incremento de la tasa de variación regular de la cobertura equivalente al **6,64%**. Las coberturas de bosques más representativas en la transformación fueron los **bosques densos altos de tierra firme (BD-ATF)** que en el **año 2021** aumentaron el **0,18%** con respecto al año 1998; **18,32%** con respecto al año 1977 y **5,58%** con respecto al **año 1956**. Se evidencia una tendencia de aumento bajo de áreas boscosas, conservando y consolidando en el tiempo los polígonos correspondientes con el Cerro de La Conejera, Cerro de Torca, Bosques Las Mercedes y sistema de Cerros Orientales dentro del área de estudio.

**Zonas urbanizadas** pasaron de ocupar el **1,49%** del área en el año 1956 a un **23,6%** en el año 2021; registrando un aumento porcentual del **22,11%** y un incremento de la tasa de variación regular de la cobertura equivalente al **1483,9%**. Las coberturas urbanizadas más representativas en la transformación fueron los **tejidos urbanos continuos (ZU\_TUC)** que en el **año 2021** aumentaron en un **6,56%** con respecto al año 1998 y en un **14,4%** con respecto al año 1977 tiempo en que se aparece esta cobertura; esto representa una tasa de incremento regular del **584,85%** con respecto al año 1977. Para el año 2021 los **tejidos urbanos discontinuos (ZU-TUD)** representan el **6,2%** registrando un

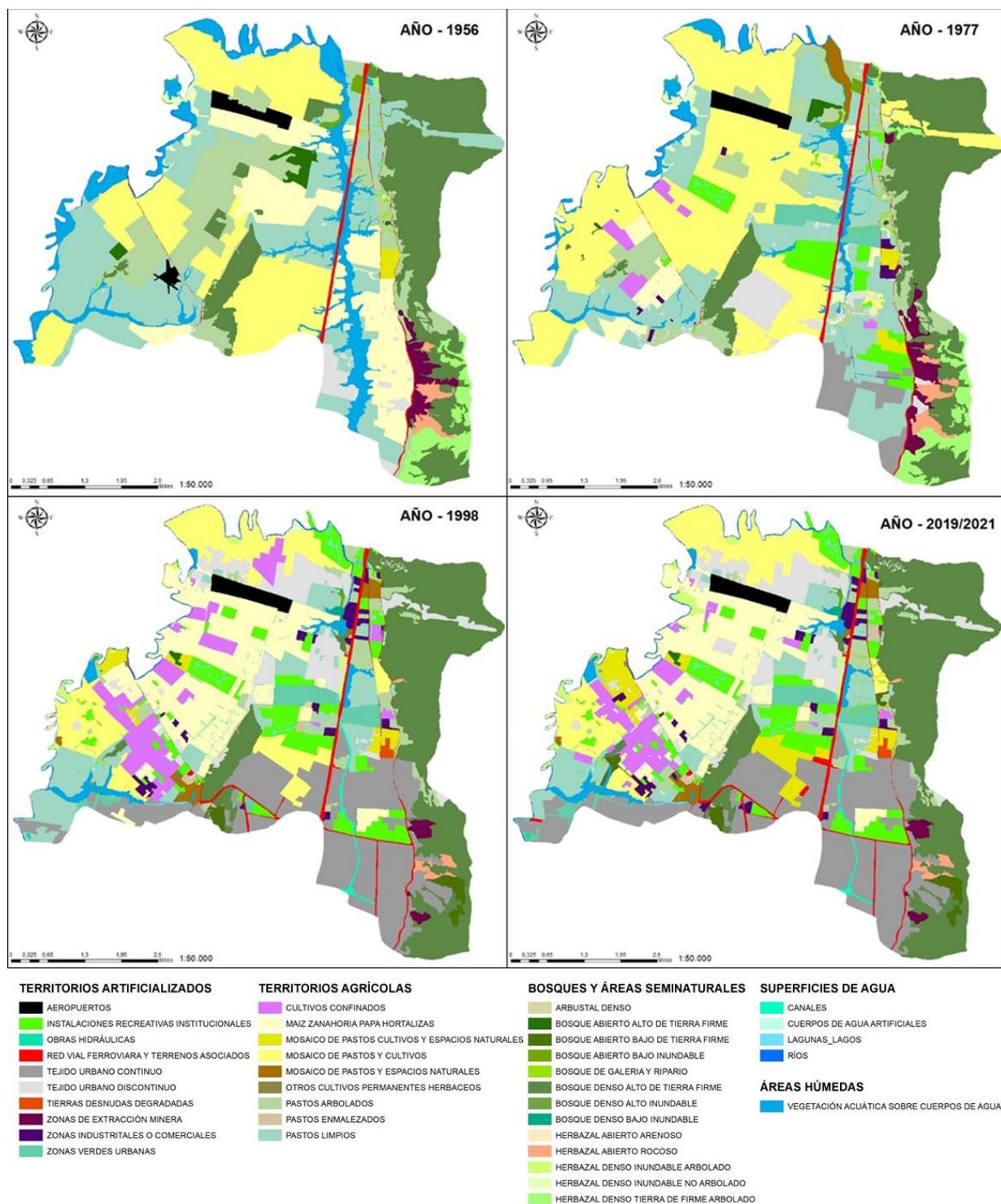
aumento del 47,63% con respecto al año 1998; del 110% con respecto al año 1977; y, del **418,12%** con respecto al año 1956. Se evidencia la consolidación de áreas urbanizadas alrededor del corredor vial de la autopista norte y en el sector sur de la cuenca.

Las coberturas asociadas con **Territorios agrícolas** registraron cambios significativos para el periodo comprendido entre los **años 1956 y 2021**, constituyéndose en coberturas altamente transformadas; Áreas agrícolas heterogéneas pasaron de ocupar el **18,37%** en el año 1956 a un **12,14%** en el año 2021 registrando una disminución porcentual del **33,91%** y un decrecimiento de la tasa de variación regular de la cobertura equivalente al **-34%**. Para el año 2021 los **Pastos** redujeron el **22,65%** con respecto al año 1956 representando una tasa de decrecimiento del **-71%**. Mosaicos de pastos y cultivos (MS-P-Cu) registraron descenso del **66,55%** y una tasa de variación regular que registró un decrecimiento del **-67%** entre el año 2021 y 1956. Entre 1956 y 2021 los Pastos limpios redujeron un **70,5%** y una tasa de variación regular con decrecimiento del **-71%**; y, los Cultivos transitorios registraron un aumento porcentual del **88,62%**.

**Áreas Húmedas Continentales** con vegetación acuática sobre cuerpos de agua (AHC-VegAcuat) asociadas a ecosistemas lénticos de humedal, registraron una reducción del **590%** y una tasa de variación regular que registró un decrecimiento del **-485%** entre el año 1956 y 2021. La reducción total de esta cobertura entre el año 2021 y 1977 fue del 125%. Entre el periodo de tiempo 1998 a 2021 esta cobertura representa el 1,5% y se mantuvo estable. **Aguas continentales de cuerpos y corrientes hídricas** (ríos, quebradas, lagos, reservorios) pasaron de ocupar el 0,73% en el año 1956 a un 1,75% en el año 2021, registrando un aumento equivalente al **140%** y una tasa de variación regular que registró un crecimiento del **139,7%**. Entre los **años 1977 y 2021** el incremento fue del **97%** mientras entre los **años 1998 y 2021** correspondió al **6%**.

**Zonas verdes artificializadas no agrícolas** (Clubes campestres, zonas verdes recreativas institucionales, zonas verdes parques urbanos); pasaron de ocupar el 0,03% en el año 1956 al 8,58% en el año 2021, registrando un aumento del **28600%**, con una tasa de variación regular con incremento equivalente al **28500%**; entre los años 1977 y 2021 fue del **66%**, mientras entre los años 1998 y 2021 incrementó el **2%**.

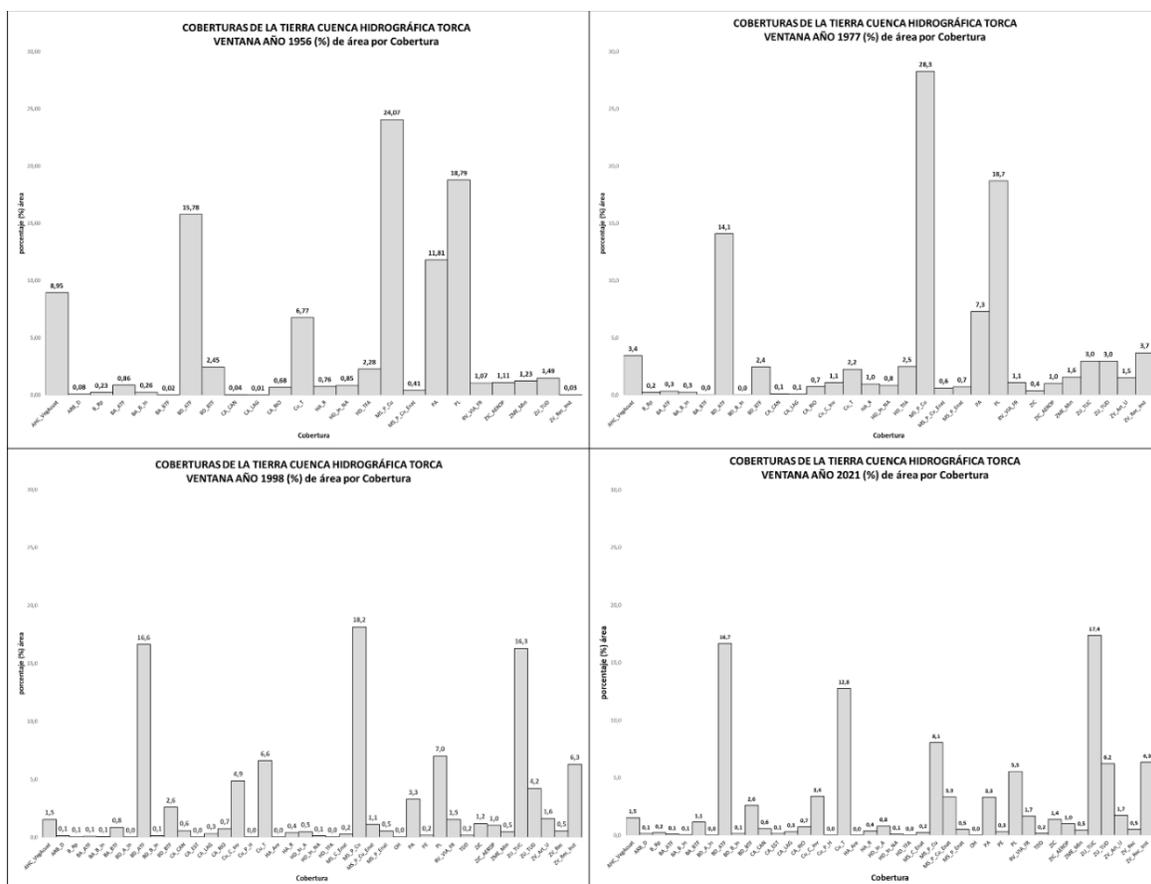
**Zonas de extracción minera (ZME-Min)** (Canteras de extracción de arenas), registraron los valores más bajos de representatividad y cambio en el tiempo; para los años 2021 y 1998 no hubo cambio registrando el mismo valor equivalente al 0,46% del área de estudio; con respecto al año 1977 evidenció una reducción del -71% y del -63% con respecto al año 1956. **Cultivos confinados bajo invernadero** (floricultivos) no se registraron en el año 1956 y pasaron de ocupar el 1,07% en el año 1977, 4,86% en el año 1998 y 3,39% en el año 2021, registrando un incremento del 354% en el periodo (1977-1998); y, un decrecimiento del -30% en el periodo (1998-2021).



**Figura 11.** Coberturas de la tierra Nivel 4 de la leyenda Corine Land Cover CLC para los tiempos analizados años: 1956-1977-1998-2021.

**Tabla 4.** Análisis multitemporal de transformación del territorio: Coberturas de la tierra determinadas para los tiempos analizados.

COBERTURAS NIVEL 2 CLC	AÑO 1956 (área ha.)	AÑO 1956 (área %)	AÑO 1977	AÑO 1977 (área %)	AÑO 1998	AÑO 1998 (área %)	AÑO 2021	AÑO 2021 (área %)
Aguas continentales	72,35	0,73	87,84	0,89	162,24	1,65	172,11	1,75
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,00	0,00	0,00	0,00	15,56	0,16	15,58	0,16
Áreas agrícolas heterogéneas	1810,85	18,37	2915,79	29,58	1110,72	11,27	1196,23	12,14
Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	391,16	3,97	422,52	4,29	109,62	1,11	141,69	1,44
Áreas húmedas continentales	881,94	8,95	339,20	3,44	151,23	1,53	150,77	1,53
Bosques	1930,99	19,59	1712,08	17,37	2010,85	20,40	2058,75	20,89
Cultivos permanentes	0,00	0,00	105,40	1,07	480,63	4,88	335,98	3,41
Cultivos transitorios	1147,51	11,64	221,77	2,25	1338,96	13,58	1258,90	12,77
pastos	3136,91	31,82	2563,14	26,00	1030,88	10,46	905,17	9,18
Zonas de extracción minera y escombreras	121,29	1,23	153,81	1,56	45,75	0,46	45,75	0,46
Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	214,42	2,18	240,23	2,44	369,92	3,75	404,12	4,10
Zonas urbanizadas	146,71	1,49	584,17	5,93	2197,17	22,29	2325,86	23,60
Zonas verdes artificializadas no agrícolas	2,67	0,03	510,86	5,18	833,28	8,45	845,90	8,58
<b>TOTAL</b>	<b>9856,81</b>	<b>100,00</b>	<b>9856,81</b>	<b>100,00</b>	<b>9856,81</b>	<b>100,00</b>	<b>9856,81</b>	<b>100,00</b>



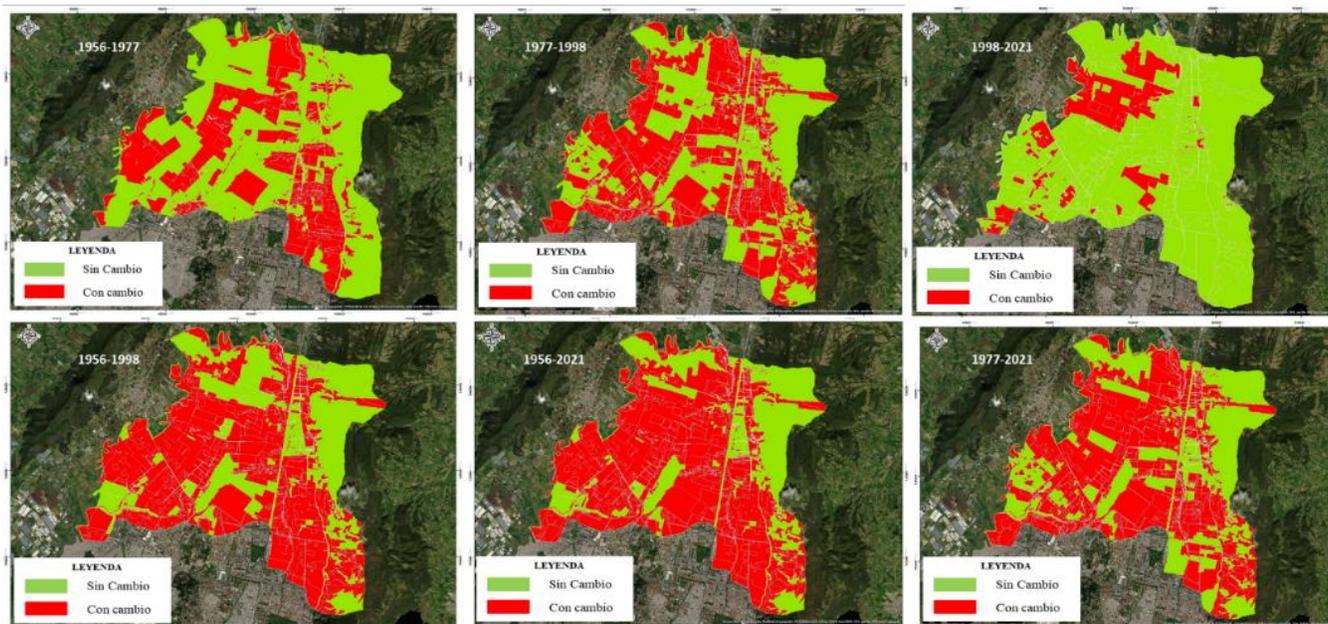
**Figura 12.** Tiempos años 1956-1977-1998-2021 Porcentaje de coberturas por periodos de tiempo analizados.

### 3.2. DINÁMICA DE CAMBIO TERRITORIAL PERIODO 1956 - 2021

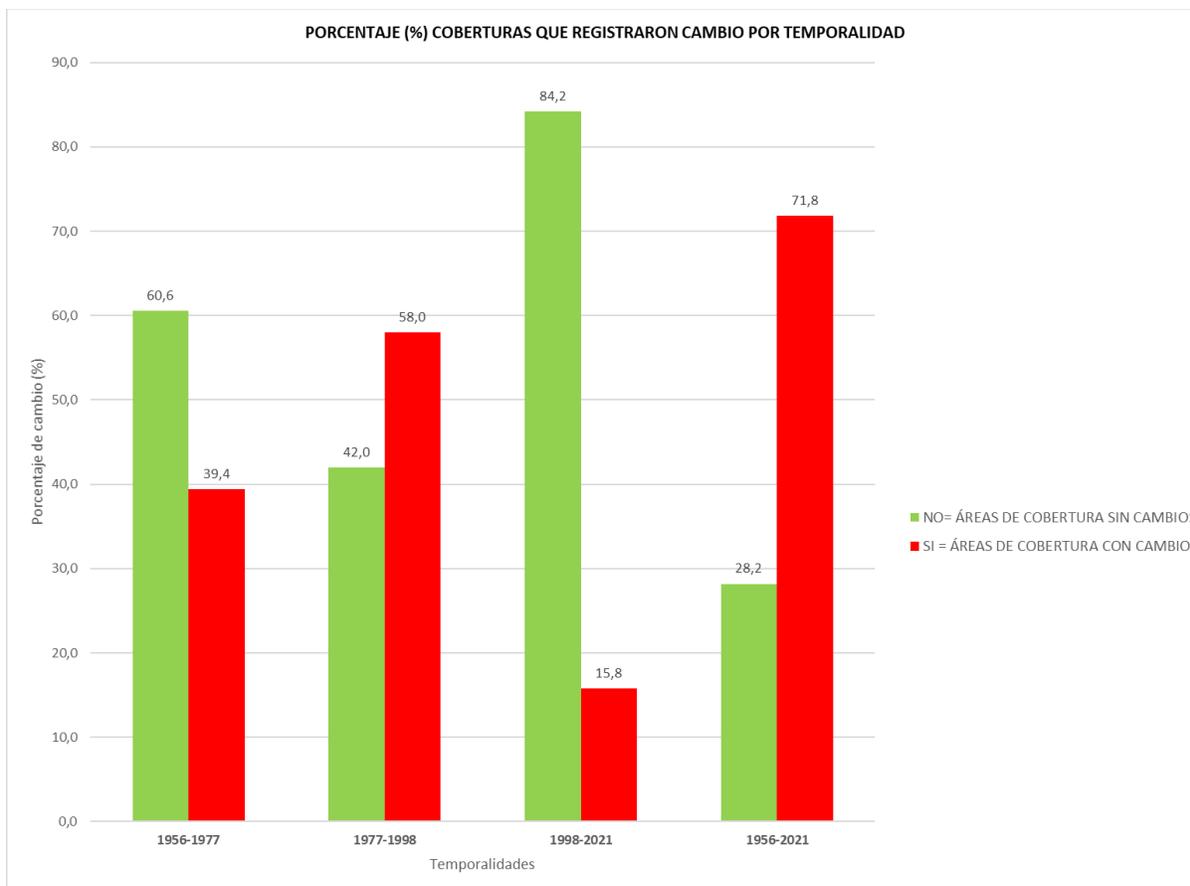
Durante el **Periodo (1956-2021)** hubo un cambio de coberturas y transformación en el **71,8%** del territorio. El periodo en el que se registraron mayores porcentajes de áreas de cambio de coberturas se presentó entre los años 1977 y 1998. Durante el periodo **1956– 1977** se registró un cambio en el **39,44%** de las coberturas dentro del área de estudio. El periodo comprendido entre los años **1998 y 2021** fue en el que se presentaron menores magnitudes porcentuales de cambio de coberturas representado en un **15,79%** (**Figuras 11, 12, 13 y 14**) (**Tablas 5 y 6**).

**Tabla 5.** Transformación general del territorio: áreas con y sin registro de cambio para los periodos de tiempo analizados entre 1956 y 2021.

PERIODO TIEMPO CAMBIO COBERTURA	1956-1977		1956-1998		1956-2021		1977-1998		1977-2021		1998-2021	
	AREA (ha)	% AREA										
NO	5969,181	60,56	3301,37	33,49	2779,50	28,20	4136,93	41,97	3564,28	36,16	8300,64	84,21
SI	3887,625	39,44	6555,44	66,51	7077,30	<b>71,80</b>	5719,88	58,03	6292,53	63,84	1556,17	15,79
TOTAL CUENCA	<b>9856,81</b>	<b>100,00</b>										



**Figura 13.** Cambio general de coberturas de la tierra por periodos de tiempo entre los años 1956 – 2021.



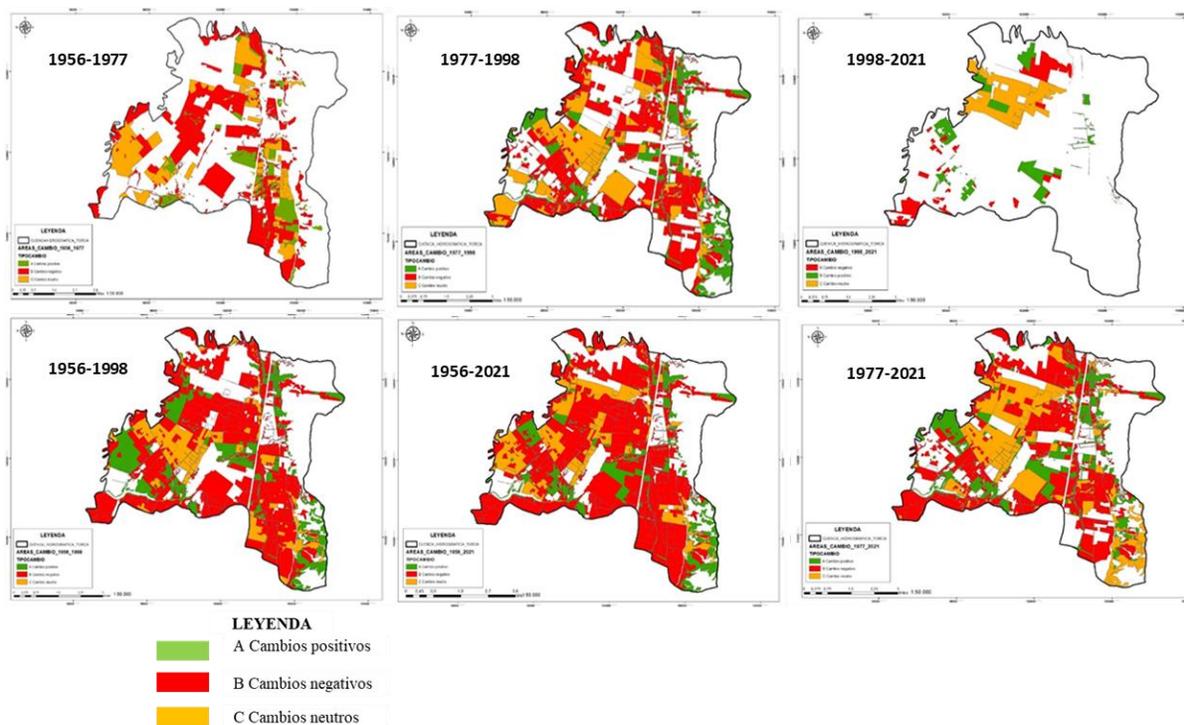
**Figura 14.** Porcentaje de Cambio general de cobertura por temporalidad de tiempo y periodo total de análisis.

- **Periodo (1956-1977):** los cambios neutros representaron el 86% expresados principalmente en coberturas agrícolas y pecuarias; los cambios negativos representados en un 10,57% estuvieron expresados en la transformación de coberturas naturales de ecosistemas de humedal y bosques abiertos inundables a coberturas agropecuarias. Los cambios positivos representaron el 2,53% principalmente por el cambio de coberturas de pastos limpios y algunas zonas antropizadas a coberturas de pastos limpios y arbolados, bosques riparios, y herbazales densos (**Figuras 11, 12, 15, 16**) (**Tablas 5 y 6**).
- **Periodo (1956-1998):** el cambio en mayor magnitud fue de tipo negativo representando el 64,1% identificados principalmente en pérdida de coberturas agropecuarias a coberturas artificializadas de tipo recreativo, de servicios, y de tejidos urbanos continuos y discontinuos que redujeron coberturas naturales de ecosistemas lénticos de humedal y otras coberturas asociadas a sistemas naturales. El 21,1% fueron cambios positivos representados en la transformación de territorios agrícolas y pecuarios a herbazales, y zonas de bosques abiertos, también la adecuación de lagos y otros cuerpos de agua dentro de clubes y haciendas. Los cambios neutros representaron el 14,9% de las transformaciones del territorio expresados principalmente sobre coberturas de territorios agrícolas y artificializados (**Figuras 11, 12, 15, 16**) (**Tablas 5 y 6**).
- **Periodo (1956-2021):** los cambios de tipo negativo representan el 67,6% del total de la transformación del territorio; se mantiene la tendencia de pérdida de coberturas agropecuarias a coberturas artificializadas de tipo recreativo, de servicios, y de tejidos urbanos continuos y discontinuos que generaron limitaciones espaciales a las coberturas relacionadas con ecosistemas lénticos de humedal, bosques, superficies de agua y áreas húmedas con vegetación acuática. Las áreas con cambios de tipo positivo y neutro registran porcentajes del 15% y 17,4% respectivamente, expresando una baja incidencia de cambio con relación a los cambios negativos (**Figuras 11, 12, 15, 16**) (**Tablas 5 y 6**).

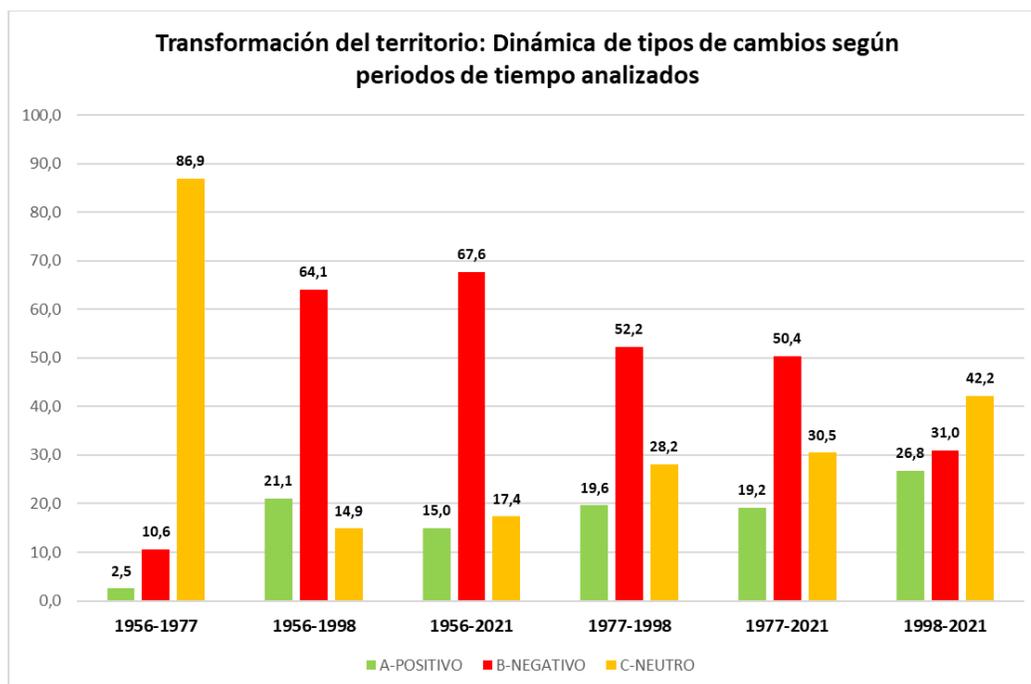
- **Periodo (1977-1998):** Entre el año 1977 y 1998 los cambios de tipo negativo representan el 52,2% del total de los cambios de coberturas identificados; se observa que desde 1977 hasta la actualidad se aumenta significativamente la tendencia de pérdida de coberturas agropecuarias a coberturas artificializadas de tipo recreativo, de servicios, y de tejidos urbanos continuos y discontinuos que generaron limitaciones espaciales a las coberturas relacionadas con ecosistemas lénticos de humedal, bosques, superficies de agua y áreas húmedas con vegetación acuática. Las áreas con cambios de tipo neutro representan el 28,2% de los cambios, especialmente en territorios agrícolas y en áreas artificializadas que cambiaron de usos comerciales a tejidos urbanos o redes viales de comunicación, sin cambiar la limitación ambiental de estas coberturas. Para este periodo los cambios de tipo positivo corresponden al 19,6%, expresando una baja incidencia de cambio con relación a los cambios negativos (**Figuras 11, 12, 15, 16**) (**Tablas 5 y 6**).
- **Periodo (1977-2021):** Los cambios de tipo negativo representan el 50,42%; se observa que desde 1977 hasta la actualidad se aumenta significativamente la tendencia de pérdida de coberturas agropecuarias a coberturas artificializadas de tipo recreativo, de servicios, y de tejidos urbanos continuos y discontinuos, limitando espacialmente ecosistemas lénticos de humedal, bosques, superficies de agua y áreas húmedas con vegetación acuática. Las áreas con cambios de tipo neutro representan el 30,5% de los cambios, especialmente en territorios agrícolas y en áreas artificializadas que cambiaron de usos comerciales a tejidos urbanos o redes viales de comunicación. Los cambios de tipo positivo corresponden al 19,2%, expresando una baja incidencia de cambio con relación a los cambios negativos (**Figuras 11, 12, 15, 16**) (**Tablas 5 y 6**).
- **Periodo (1998-2021):** se registra una dinámica de cambio proporcional entre los tres tipos de cambio. Si bien en la actualidad es donde se puede expresar la mayor característica de transformación del territorio, en los últimos 23 años, se ha registrado un menor valor de transformación, evidenciando **menor expansión de áreas, pero consolidación de coberturas existentes**. Cambios neutros registran el 42,2%, expresados en las coberturas naturales, agropecuarias y artificializadas. Los cambios de tipo negativo representan el 31% especialmente en transformación de coberturas hacia usos urbanísticos de vivienda campestre, infraestructura recreativa e institucional de centros académicos, comercio y un pequeño sector de industria. Los cambios de tipo positivo corresponden al 26,8%, representado en una recuperación de áreas de bosques de tierra firme, bosques riparios, pequeñas franjas inundables de ecosistemas de humedal; también la transformación de coberturas agrícolas de cultivos y pastos limpios a herbazales inundables, mosaicos agrícolas con espacios naturales, cuerpos de agua, pastos arbolados y enmalezados, entre otras coberturas con atributos ecológicos y ambientales (**Figuras 11, 12, 15, 16**) (**Tablas 5 y 6**).

**Tabla 6.** Transformación del territorio: Dinámica de tipos de cambios según periodos de tiempo analizados.

PERIODO TIEMPO	Área (ha) 1956- 1977	Área (%) 1956- 1977	Área (ha) 1956- 1998	Área (%) 1956- 1998	Área (ha) 1956- 2021	Área (%) 1956- 2021	Área (ha) 1977- 1998	Área (%) 1977- 1998	Área (ha) 1977- 2021	Área (%) 1977- 2021	Área (ha) 1998- 2021	Área (%) 1998- 2021
TIPO DE CAMBIO	AREA (ha)	% AREA	AREA (ha)	% AREA	AREA (ha)	% AREA	AREA (ha)	% AREA	AREA (ha)	% AREA	AREA (ha)	% AREA
<b>A-POSITIVO</b>	538,62	2,53	1380,19	21,05	1059,93	14,98	1123,59	19,64	1205,27	19,15	417,09	26,80
<b>B-NEGATIVO</b>	2251,45	10,57	4200,55	64,08	4787,78	67,65	2986,03	52,20	3168,47	50,35	482,01	30,97
<b>C-NEUTRO</b>	18505,55	86,90	974,69	14,87	1229,59	17,37	1610,26	28,15	1918,79	30,49	657,06	42,22
<b>TOTAL CAMBIO</b>	<b>21295,62</b>	<b>100,00</b>	<b>6555,44</b>	<b>100,00</b>	<b>7077,30</b>	<b>100,00</b>	<b>5719,88</b>	<b>100,00</b>	<b>6292,53</b>	<b>100,00</b>	<b>1556,17</b>	<b>100,00</b>



**Figura 15.** Transformación del territorio según relación de coberturas de la tierra, por periodos de tiempo entre los años 1956 – 2021.



**Figura 16.** Transformación del territorio: Dinámica de tipos de cambios según periodos de tiempo analizados.

- **Variaciones multitemporales de coberturas**

- Los bosques registraron variaciones positivas desde 1977 hasta el año 2021; estas variaciones fueron de baja magnitud.
- Las aguas continentales; zonas industriales comerciales y redes de comunicación; Zonas urbanizadas, zonas verdes artificializadas no agrícolas registraron variaciones de incremento positivo entre las diferentes temporalidades analizadas.
- Las áreas húmedas y los pastos fueron las coberturas que registraron variaciones negativas en todos los tiempos analizados entre los años 1956 hasta 1998. La relación de variación entre los años 1998 y 2021 no tuvo cambios de áreas.
- Las áreas abiertas o con poca vegetación presentaron registraron variaciones de incremento positivo entre los años 1977 y 1998.
- Los cultivos permanentes presentaron variaciones positivas en todos los periodos de tiempo exceptuando el periodo 1998-2021, que tuvo una variación negativa.
- Áreas con vegetación herbácea o arbustiva y áreas agrícolas heterogéneas registraron variaciones positivas para los periodos 1956-1977 y 1998-2021; mientras para los demás periodos registraron variaciones negativas. (**Tabla 7**) (**Figuras 17 y 18**)

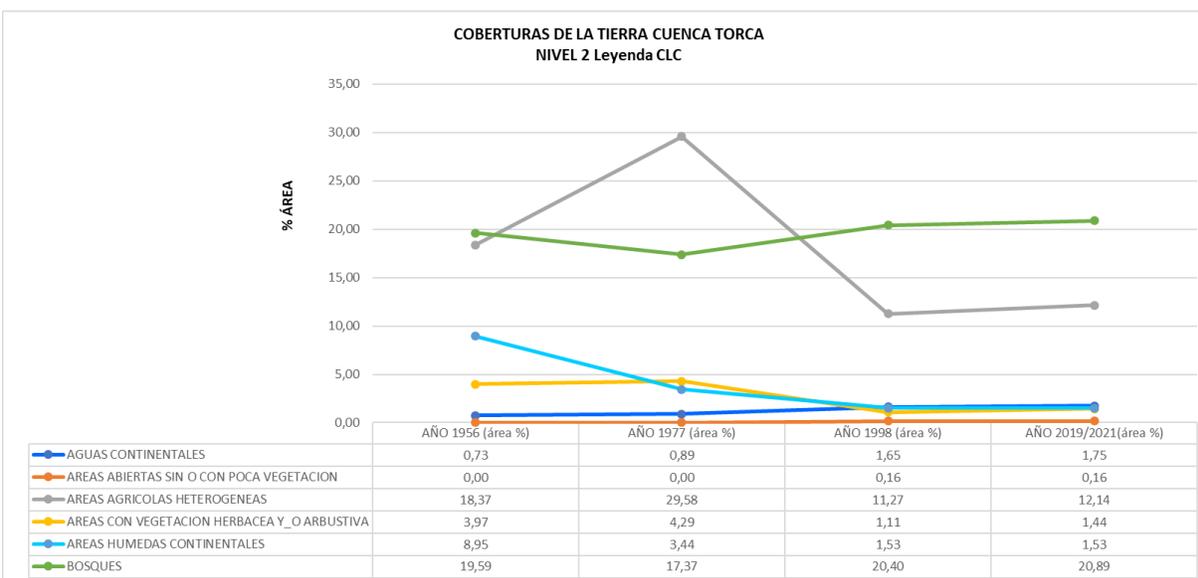
**Tabla 7.** Variaciones multitemporales de coberturas de la tierra nivel 2 CLC para los periodos de tiempo analizados.

COBERTURAS NIVEL 2 CLC	variación (%) 1956-1977	variación (%) 1956-1998	variación (%) 1956-2021	variación (%) 1977-1998	variación (%) 1977-2021	variación (%) 1998-2021
AGUAS CONTINENTALES	0,16	0,91	<b>1,01</b>	0,75	0,85	0,10
AREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACION	0,00	0,16	<b>0,16</b>	0,16	0,16	0,00
AREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS	11,21	-7,10	<b>-6,24</b>	-18,31	-17,45	0,87
AREAS CON VEGETACION HERBACEA Y_O ARBUSTIVA	0,32	-2,86	<b>-2,53</b>	-3,17	-2,85	0,33
AREAS HUMEDAS CONTINENTALES	-5,51	-7,41	<b>-7,42</b>	-1,91	-1,91	0,00
BOSQUES	-2,22	0,81	<b>1,30</b>	3,03	3,52	0,49
CULTIVOS PERMANENTES	1,07	4,88	<b>3,41</b>	3,81	2,34	-1,47
CULTIVOS TRANSITORIOS	-9,39	1,94	<b>1,13</b>	11,33	10,52	-0,81
PASTOS	-5,82	-21,37	<b>-22,64</b>	-15,55	-16,82	-1,28
ZONAS DE EXTRACCION MINERA Y ESCOMBRERAS	0,33	-0,77	<b>-0,77</b>	-1,10	-1,10	0,00
ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACIÓN	0,26	1,58	<b>1,92</b>	1,32	1,66	0,35
ZONAS URBANIZADAS	4,44	20,80	<b>22,11</b>	16,36	17,67	1,31
ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS NO AGRICOLAS	5,16	8,43	<b>8,55</b>	3,27	3,40	0,13

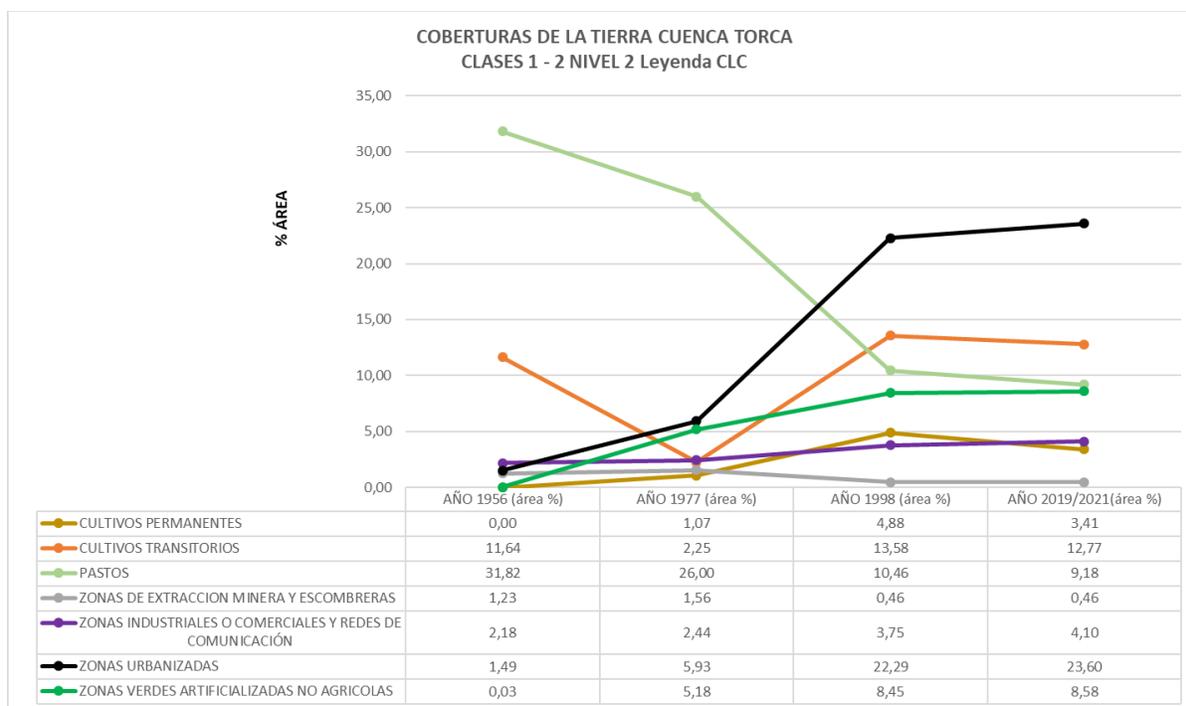
- **Áreas con atributos ecológicos y ambientales:** En lo relacionado con coberturas de alto valor funcional ecosistémico, se identificaron áreas correspondientes con coberturas de bosques y áreas seminaturales, áreas húmedas y superficies de agua. Los resultados indican diferentes tendencias según las coberturas, que son correspondientes con los análisis multitemporales de cambio desarrollados anteriormente (**Tablas 4, 5, 6,7**) (**Figuras 11, 15, 17**). Los **bosques** tuvieron un comportamiento estable durante el periodo de tiempo analizado, con un leve incremento durante los últimos 20 años. El rango de esta cobertura estuvo representado entre el 17,37% del área de la cuenca registrado para el año 1977 y el 20,89% valor máximo registrado para la cobertura en el año 2021.

**Coberturas agrícolas heterogéneas** de mosaicos de espacios naturales con cultivos y pastos (limpios, arbolados, enmalezados); presentaron una amplia variabilidad de transformación en el tiempo. En 1956 representaban el 18,37%; en 1977 el 29,58%; disminuyendo ostensiblemente a 11,27% en el año 1998; y, una representatividad actual del 12,14% del área total. Esto explica que en entre 1977 y 2021 se registró el principal cambio de coberturas del territorio, incidiendo en coberturas naturales y agrícolas heterogéneas con espacios naturales en mosaico. **Aguas continentales** (lagos, reservorios, canales-vallados, ríos, quebradas) tuvieron un comportamiento ascendente; para el año 1956 registraban el 0,73% del área de estudio, incrementando al 0,89% en 1977; 1,65% en 1998 y 1,75% en 2021 (**Tablas 4, 5, 6,7**) (**Figuras 11, 15, 17, 18**).

- **Áreas artificializadas y agropecuarias:** Las coberturas de zonas urbanizadas registraron mayor tendencia de incremento en el tiempo, en año 1977 representaban un 5,93% del área; pasando en 1998 a un 22,29% y en 2021 a un 23,60%. Estas coberturas principalmente están dominadas por tejidos urbanos continuos y discontinuos, que se fueron desarrollando sobre territorios agrícolas y áreas de humedal, estabilizaron en crecimiento durante los últimos 20 años, mientras aumentaron significativamente durante el intervalo de tiempo de 1977 a 1998. Las zonas verdes artificializadas no agrícolas correspondientes con parques dentro de matrices urbanas aumentaron progresivamente, pero en baja proporción a partir de 1977, pasando del 5,18% en este año al 8,58% en el año 2021 (**Tablas 4, 5, 6,7**) (**Figuras 11, 15, 17, 18**).



**Figura 17.** Comportamiento de tendencia de coberturas nivel CLC (Bosques y áreas seminaturales; áreas húmedas; superficies de agua) identificadas para la cuenca Torca identificadas en el análisis multitemporal.



**Figura 18.** Comportamiento de tendencia de coberturas nivel CLC (Territorios artificializados; Territorios agrícolas) identificadas para la cuenca Torca identificadas en el análisis multitemporal.

#### • LINEA DE TIEMPO HITOS HISTÓRICOS

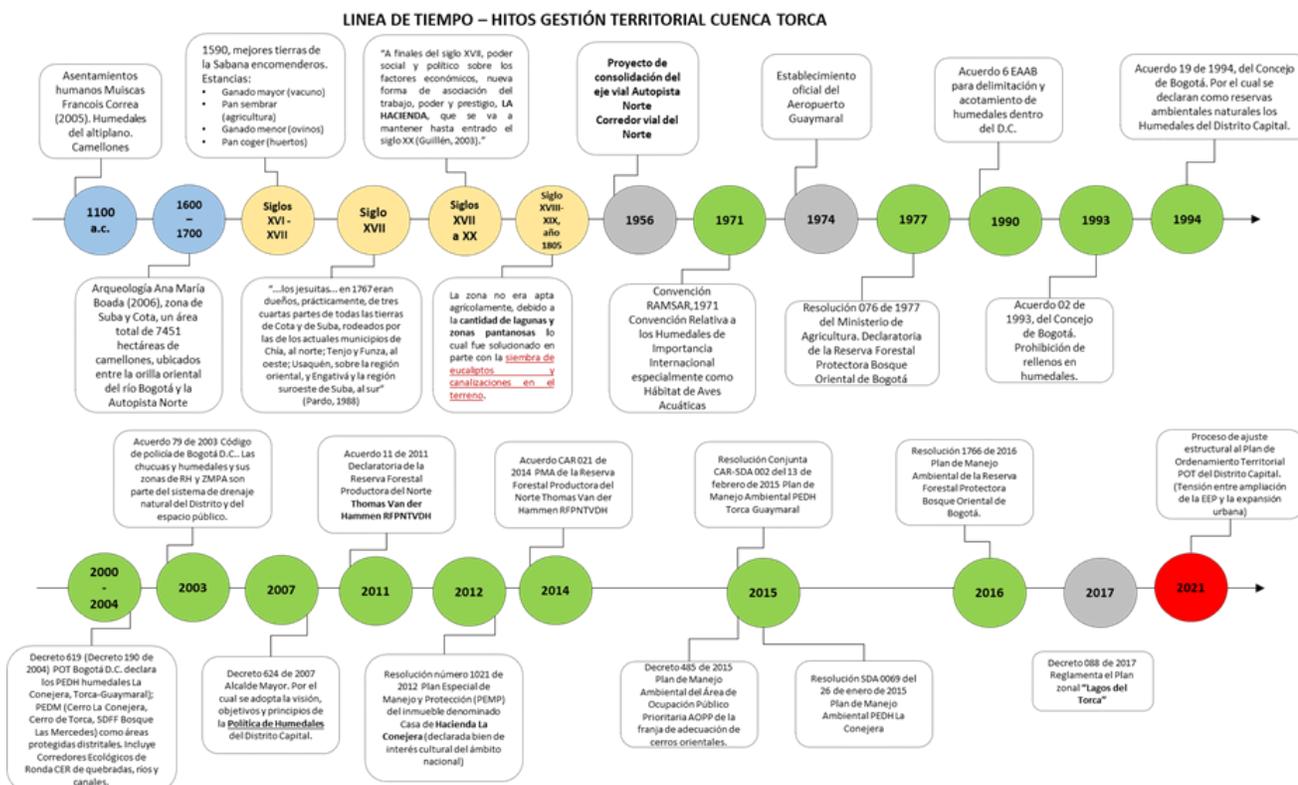
Se identificaron eventos relacionados con el manejo y gestión del territorio que contextualizan cualitativamente los tiempos analizados. Estos eventos se relacionan con los factores de cambio y con los procesos de transformación de los ecosistemas y coberturas agropecuarias y artificializadas. Se identificaron eventos que promovieron cambios orientados a consolidar áreas urbanizadas y redes viales conectoras de dinámicas socioeconómicas. Se identificaron eventos que determinaron la delimitación de áreas de suelos de protección bajo diferentes categorías y estrategias de manejo, permitiendo la implementación de procesos de conservación que sirvieron como determinante para el mantenimiento y mejoramiento de condiciones de ecosistemas terrestres y acuáticos presentes en el norte de Bogotá D.C.. La línea de tiempo identifica hitos históricos previos a la temporalidad analizada, hitos asociados a procesos productivos y de urbanización, hitos de gestión de la conservación de ecosistemas y valores ambientales; así como el hito actual de tensión en el marco del proceso de ajuste general al ordenamiento territorial del Distrito Capital de Bogotá (**Figura 19**) (**Anexo 6**).

Se pudo determinar que para el primer año analizado (1956), en la configuración y composición del paisaje del territorio correspondía a los procesos de colonización histórica del Altiplano “Sabana de Bogotá”, con un paisaje agropecuario dominante con presencia de ecosistemas boscosos y acuáticos de humedales y zonas de bosques riparios de sistemas hídricos lóticos.

Proyectos como la consolidación de la Autopista Norte en el año 1956 y el emplazamiento del aeropuerto Guaymaral en el año 1974 generaron hitos importantes en la segmentación de ecosistemas de humedal. En consonancia. Simultáneamente desde 1971 se generaron procesos administrativos que oficializaron mediante normatividad y otros actos administrativos procesos de declaratoria, delimitación y administración de áreas protegidas y otros suelos de protección; algunas referencias importantes son la declaratoria de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá RFPBOB en 1971; los Acuerdos y Decretos que incorporaron humedales de Bogotá bajo categorías de áreas protegidas Distritales (Acuerdo 02 de 1993) y (Decreto 619 de 2000 y 190 de

2004), entre otras normas que permitieron la protección de ecosistemas de montaña y del valle aluvial de los ríos Torca y Bogotá ubicados en el área de estudio.

Procesos de ordenamiento territorial consolidados en el Distrito Capital en los años 2000, 2004 y 2021 han determinado la implementación de políticas públicas de urbanización y conservación que se encuentran en constante debate y tensión entre los actores sociales, públicos y privados del territorio. La línea de tiempo permite entender con mayor referencia los cambios cuantitativos de coberturas y las condiciones administrativas de cada tiempo analizado. Este resultado cualitativo es integrado a la discusión de los resultados.



**Figura 19.** Esquema general de línea de tiempo hitos históricos de gestión territorial en el área de estudio.

### 3.3. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES ACP RELACIONADO CON LAS COBERTURAS EN LOS CUATRO TIEMPOS ANALIZADOS

Las matrices de correlación de Pearson generadas en el ACP para las coberturas para nivel 2 CLC en los cuatro tiempos evidenció que existe alta correlación entre las variables. Las principales correlaciones identificadas son: Correlación entre Bosques, áreas heterogéneas agrícolas, áreas con vegetación herbácea o arbustiva, cultivos transitorios; Correlación entre áreas húmedas continentales a aguas continentales, zonas verdes artificializadas no agrícolas, pastos, cultivos transitorios; Correlación entre áreas urbanizadas, aguas continentales, áreas abiertas sin o con poca vegetación, cultivos permanentes, pastos, zonas industriales comerciales red vial (**Anexos 3, 4, 5**).

Se determinó que con dos componentes principales se explican **acertadamente más del 98%** del conjunto de variables (**Anexos 3, 4, 5**). La componente principal No.1 explica el **83,17%** de las variables y la componente principal No.2 explica el **15,77%**. Los valores de las varianzas de las dos componentes principales son mayores a 1 lo que indica que cada componente principal puede explicar más de una variable. Todos los valores registran valores por encima de **0,9**, por lo cual todas las coberturas son importantes para explicar el análisis.

Los resultados obtenidos de la matriz y gráfico de componente evidenciaron: **a)** Para la primera componente principal Cultivos transitorios y bosques tiene una alta correlación y se encuentran por encima de la media del conjunto de datos. Que además están mejor agrupados entre los años 1998 y 2021.; **b)** Para la primera componente principal las áreas húmedas continentales (húmedales y zonas inundables) y los pastos se encuentra por debajo de la media; **c)** Para la segunda componente principal las áreas abiertas sin o con poca vegetación, zonas urbanizadas, cultivos permanentes, aguas continentales, zonas verdes artificializadas no agrícolas zonas comerciales e industriales se encuentran mejor integradas a los periodos de tiempo de los años 1998 y 2021 (**Figuras 20 y 21**).

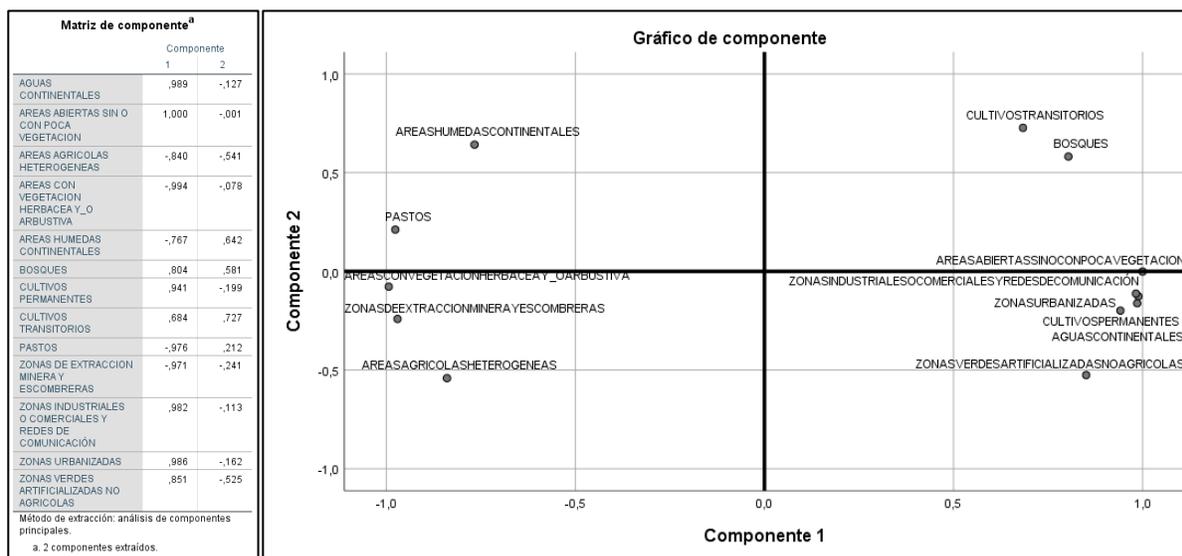


Figura 20. Matriz de componente, gráfico de componente.

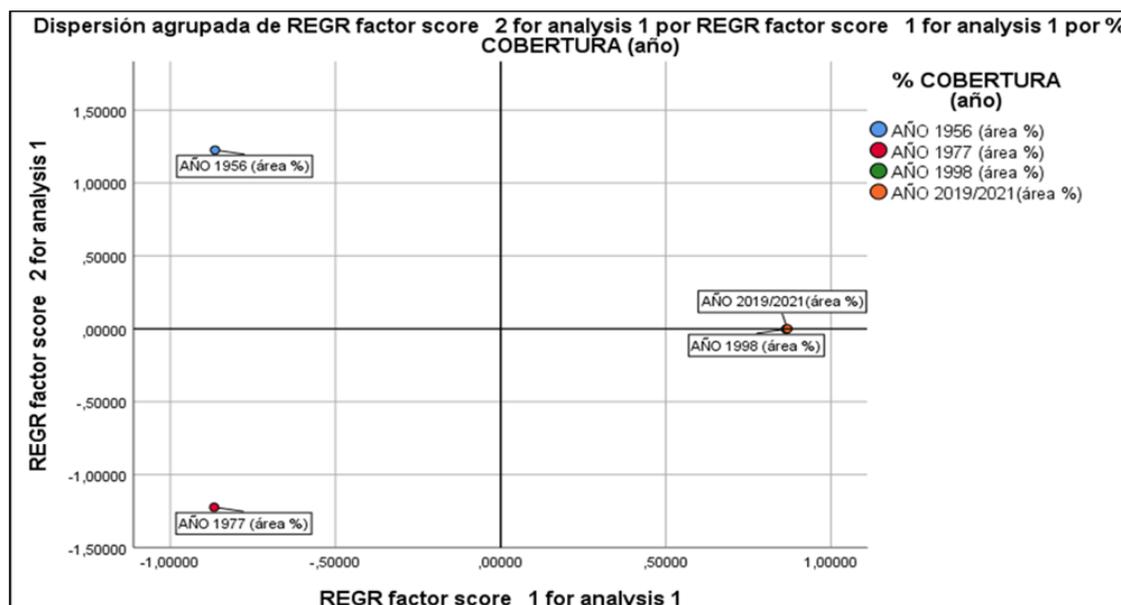


Figura 21. Matriz de componente, gráfico de componente.

- **ANÁLISIS DE PAISAJE Y CONECTIVIDAD ESTRUCTURAL**

Se obtuvieron valores de métricas de Parche y Clase (Patch y Class) del paisaje para el análisis de conectividad e identificación de proceso de fragmentación (**Anexo 7**).

- **Procesos de fragmentación de coberturas**

Se pudo establecer que entre 1956 y 2021 **aumentó la fragmentación** de las coberturas agropecuarias y la reducción de hábitats de humedal y ecosistemas inundables. A partir de los postulados y criterios definidos por Bogaert et al. (2004) y Saura (2019), se encontró que los principales procesos de cambio espacial y fragmentación de las coberturas en el territorio fueron:

- En **Bosques de tierra firme** procesos de agregación con aumento bajo de áreas en el tiempo
- En **Bosques inundables y coberturas vegetales inundables y Áreas húmedas continentales de humedales** procesos de reducción de hábitats, fragmentación y pérdida
- En **Áreas de territorios agrícolas y pecuarios** procesos de Pérdida, cambio de forma, disección o fragmentación, perforación (principalmente por tejidos urbanos continuos, cultivos confinados bajo invernaderos, áreas artificializadas (clubes, centros educativos y recreativos)
- En **Tejidos urbanos continuos y zonas urbanizadas** presentaron procesos de agregación e incremento que significó un aumento alto de áreas en el tiempo.

La transformación del territorio del área de estudio, evidencian que durante los últimos 70 años se presentaron procesos de fragmentación diferencial principalmente en coberturas naturales asociadas a ecosistemas acuáticos; así mismo, en coberturas agropecuarias, que significaron modificación y reducción de hábitats o de áreas seminaturales y agrícolas. Adicionalmente, se evidenció el aumento del tamaño de las áreas urbanizadas como uno de los efectos de los procesos de expansión urbana principalmente en el sector sur y central de la cuenca hidrográfica.

### 3.4. ANÁLISIS DE MÉTRICAS PARCHES Y CLASE (PATCH Y CLASS)

**CLASS-CONNECT- Índice conectividad:** la mejor conectividad de uniones entre coberturas ecológica y ambientalmente funcionales se presenta entre Bosques, pastos arbolados, aguas continentales (lagos), zonas húmedas (humedales) y áreas agrícolas. Las coberturas de baja conectividad son la vegetación herbácea y/o arbustiva, cultivos permanentes, zonas verdes artificializadas no agrícolas, zonas urbanizadas discontinuas.

**Class – Patch CA- Áreas de los parches:** Los parches más grandes corresponden a las coberturas de bosques, zonas urbanas, pastos, cultivos y áreas agrícolas heterogéneas; consecutivamente pastos arbolados, enmalezados y limpios, zonas verdes artificializadas no agrícolas y cultivos transitorios. **1956:** Los tamaños de parches son más homogéneos en las coberturas dominantes, representando una mayor continuidad de las coberturas en el paisaje, mayor tamaño y menor distancia entre coberturas. **1977:** Los tamaños de parches mantienen homogeneidad con respecto a las coberturas dominantes. En este periodo de tiempo se observa que en el sector oriental de la cuenca se presentan mayores polígonos con menores tamaños que indican un proceso dinámico de cambio. Las coberturas naturales a excepción de los bosques de tierra firme reducen significativamente su tamaño. **1998:** Aumento significativo de parches genera el efecto de reducción de área de parches en coberturas naturales y agropecuarias principalmente. Aumentan tamaños de coberturas artificializadas, pero aún se presentan dispersas. **2021:** menor aumento de parches que mantiene el efecto de reducción de área de parches en coberturas agropecuarias principalmente. Aumentan tamaños de coberturas artificializadas que se consolidan y expresan continuidad, los parches naturales se mantienen en área o aumentan en una pequeña magnitud.

**Class- PLAND- Porcentaje de paisaje:** para este caso se observa que las unidades de cobertura de bosques, zonas urbanizadas, cultivos transitorios y áreas agrícolas heterogéneas son las que más representan la composición porcentual del paisaje en los años 1977, 1998 y 2021. El paisaje se expresa como un mosaico de poca dominancia de coberturas particulares, en el cual coberturas naturales de bosques y áreas seminaturales dominan unos sectores

específicos del paisaje, de la misma manera ocurre con los tejidos urbanos continuos que dominan el sector sur de la cuenca en 1998 y 2021; y, con las zonas con coberturas agropecuarias que dominan el sector central de la cuenca. Las superficies de agua y áreas húmedas y otras coberturas se expresan asociados a la condición fisiográfica del territorio asociado al sistema orográfico y aluvial que caracterizan la geomorfología de la cuenca hidrográfica; estas áreas representan un alto porcentaje en los años 1956 y 1977, pero una baja representatividad en los periodos 1998 y 2021.

**CLASS-NP-número de parches:** Para las coberturas naturales, seminaturales y con atributos ecológicos que interesa conectar indica que las aguas continentales, áreas húmedas de vegetación acuática sobre cuerpos de agua (humedales), zonas verdes artificializadas no agrícolas y pastos arbolados y enmalezados representan valores mayores expresando mayor dispersión en el área; mientras cobertura de bosques, pastos limpios, mosaicos de pastos y cultivos, y representan un valor menor que se expresa en parches grandes más continuos con menor efecto de borde, pero menos frecuentes en el territorio de la cuenca hidrográfica. Esto puede representar que, aunque el área total de otras coberturas es mayor a los bosques, estos y otras coberturas ecológicamente funcionales como cuerpos de agua, áreas húmedas con vegetación acuática están representados en menos parches mejor conectados o más continuos con coberturas con atributos ecológicos de otras clases. Esta característica es recurrente a partir del año 1977 periodo que en la cuenca evidencia un inicio de cambio y transformación acelerada. Para el año 1956 se observa que las coberturas naturales, territorios agrícolas tienen bajo número de parches de mayor tamaño y con continuidad en el paisaje.

**CLASS- LPI- Índice de parche:** evidencia que para los cuatro tiempos ninguna cobertura domina el paisaje; Bosques, Mosaicos de cultivos y pastos y cultivos dominan los años 1956 y 1977; en los años 1998 y 2021 incorpora a este patrón las coberturas artificializadas de tejidos urbanos continuos y discontinuos. **LPI** bajos están representados en ríos, áreas húmedas con vegetación acuática, mosaicos de áreas naturales con pastos y cultivos, vías.

**CLASS- PAFRAC - Índice de dimensión fractal:** obtenidos para las clases de coberturas del paisaje muestra que son superiores a uno (1) indicando que las clases de coberturas analizadas también se comportan con formas irregulares para los años de 1956, 1977, 1998, 2021. Esta condición predomina en los años de 1998 y 2021 las coberturas de territorios artificializados y cultivos y pastos limpios se comportan con figuras regulares.

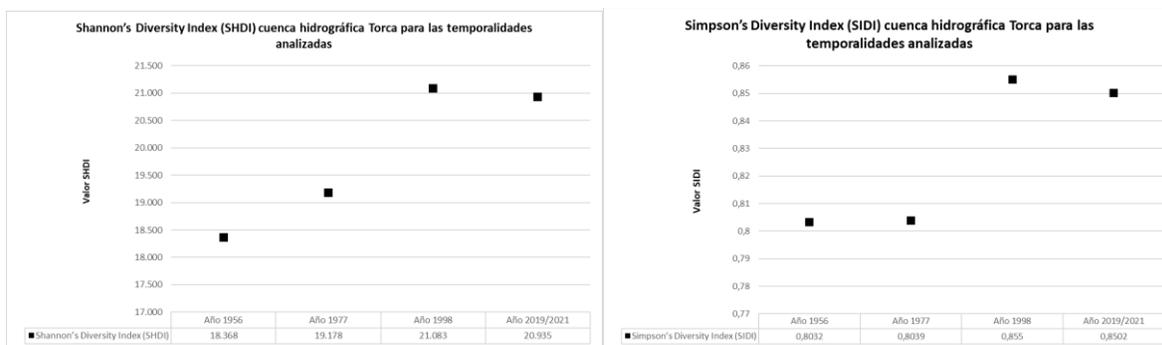
**CLASS-PROX-MN-Índice de proximidad:** determina que las coberturas con vecinos más cercanos de la misma clase son la de Mosaicos de pastos y cultivos; pastos; cultivos transitorios; Bosques y áreas seminaturales (coberturas con atributos ecológicos y ambientales). Esto explica que dentro del paisaje estas coberturas son las que cuentan con mejor proximidad. Para coberturas de mosaicos de pastos cultivos y espacios naturales, cuerpos de agua, áreas húmedas de humedal la proximidad es media a baja. Este resultado, posibilita planear diferentes coberturas potenciales para conectar áreas de bosques con espacios de humedal, zonas riparias a través de intervenciones de restauración ecológica.

**CLASS-ENN-MN- Distancia más cercana a los parches vecinos de la misma clase:** determinó valores más bajos en la cobertura de áreas abiertas o con poca vegetación, aguas continentales de cuerpos de agua, cultivos permanentes, zonas industriales y comerciales significando esto, que son coberturas con menor continuidad en el paisaje y más distancia entre parches de la misma clase. Para vegetación acuática sobre cuerpos de agua y otras coberturas de herbazales y seminaturales los valores de distancias son altos especialmente en vegetación secundarios significando que hay mayor distancia entre parches de la misma cobertura, esta condición es más extrema en la cobertura de áreas húmedas y tejidos urbanos discontinuos que presentan mayor lejanía entre parches y están más dispersos. Este resultado no implica una limitante para el manejo y gestión de la conectividad en el área de estudio, debido a que en el área de estudio existen diferentes áreas con coberturas naturales y seminaturales, e inclusive agrícolas como pastos arbolados y pastos limpios que son funcionales ecológicamente para la conectividad y flujo de biodiversidad.

**CLASS-TECI-Índice de contraste de borde total** determinó que entre las clases hay contrastes medios a bajos en el paisaje especialmente en los años 1956 y 1977, el cual aumenta en 1998 y 2021, especialmente entre los valores de coberturas vegetales de bosques o vegetación secundaria con respecto a las demás coberturas como pastos arbolados; estas diferencias aumentan con coberturas urbanas, agrícolas como cultivos confinados bajo invernaderos, ríos y vías. Esto explica una configuración del paisaje definida por coberturas de contrastes significativos.

**Métricas paisaje (LandScape):** para el año 1956 el índice de diversidad de Shannon's es 18,36 y el índice de diversidad de Simpson's 0,8032, valores que representan menor diversidad de parches con relación a los demás tiempos; indicando que en esta ventana de tiempo existía mayor homogeneidad de coberturas en el paisaje y mayor

dominancia de coberturas de territorios agrícolas, bosques, áreas húmedas y áreas seminaturales. La tendencia de estos índices expresa que la diversidad de coberturas ascendió en el año 1977 (19,17 Shannon's) (0,8039 Simpson's); registrando los mayores valores en el año 1998 (21,08 Shannon's) (0,855 Simpson's). En el año 2021 se redujo la diversidad a un valor de (20,93 Shannon's) (0,8502 Simpson's) que igualmente indica una alta diversidad de coberturas en el paisaje. Para diversidad Shannon's los valores se alejan de (0) y para diversidad Simpson's los valores se acercan a (1) indicando alta diversidad (**Figura 22**).

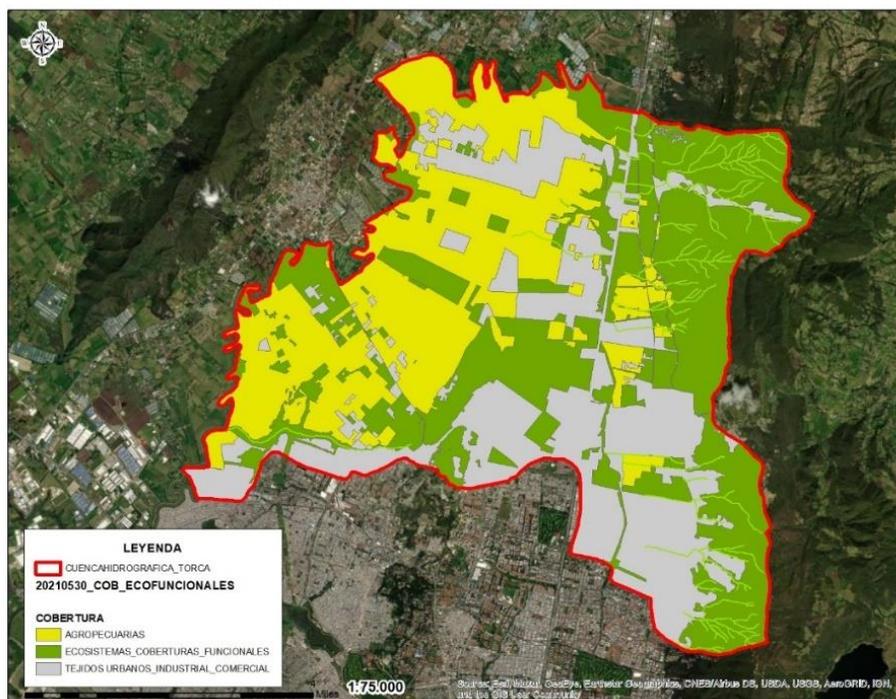


**Figura 22.** Comportamiento de los índices de diversidad de Shannon y Simpson para los tiempos analizados.

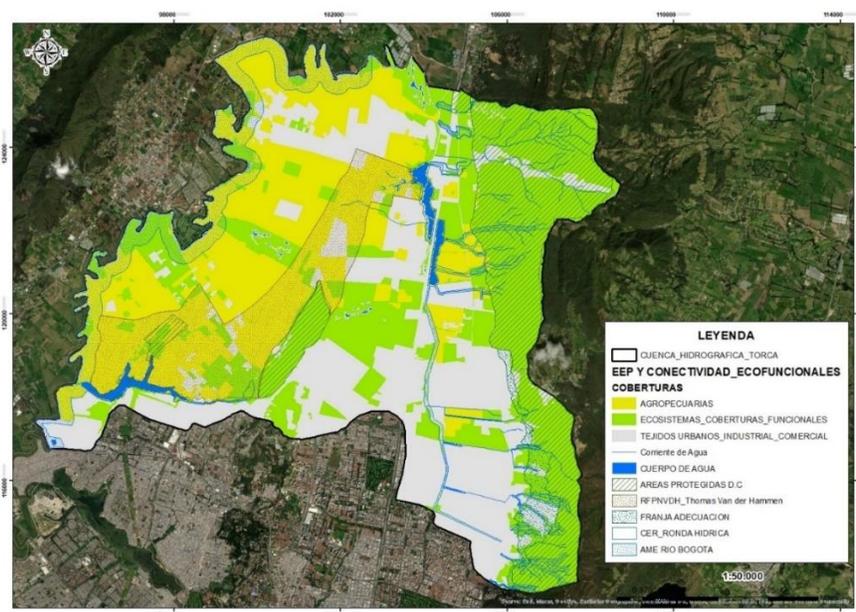
- **Proyección espacial de áreas para mejoramiento de la conectividad estructural**

**Conectividad de coberturas con continuidad espacial y atributos ecológicos:** A partir de los resultados de las métricas de paisaje calculadas, se obtuvieron los polígonos de coberturas con mayores atributos y potenciales de funcionalidad ecológica, que pueden ser objeto de estrategias de preservación, conservación, protección, y viables para procesos de restauración ecológica. Estas coberturas con atributos ecológicos y ambientales corresponden al **39,85%** e incluyen todas las coberturas de bosques, áreas seminaturales, áreas húmedas continentales, superficies de agua, e incluyen pastos arbolados y pastos enmalezados, áreas verdes recreativas con cuerpos de agua y coberturas vegetales en su interior). Se determinaron las **coberturas agropecuarias** ocupan **30,2%** y corresponden a las coberturas de territorios agrícolas exceptuando los pastos arbolados y enmalezados; y, la **coberturas artificializadas** representan el **29,95%** e incluyen los territorios artificializados que no tiene atributos ecosistémicos ni potencial de conectividad (**Figura 23**). Se identificó, que dentro de las coberturas del grupo agropecuarias existen áreas de pastos y mosaicos agropecuarios con espacios naturales que actualmente se encuentran dentro de categorías de suelos de protección (áreas protegidas, rondas hídricas o de estrategias de conservación in situ). Este criterio se incluyó en la proyección espacial del corredor de conectividad potencial, dentro del cual se pueden realizar gestión de estrategias de restauración, conservación, preservación y uso sostenible (**Figuras 23 a 25**).

Esta proyección de corredor de áreas continuas y con atributos ecológicos para la conectividad integró: **a)** los resultados y capas shape generadas como resultado del análisis multitemporal para los cuatro tiempos 1956 – 1977 – 1998 – 2021; **b)** Mapa de coberturas actuales generado para el tiempo 2021 incluyendo las coberturas naturales y seminaturales con atributos ecológicos, agropecuarias con atributos ecológicos (pastos arbolados, pastos enmalezados, pastos limpios, mosaicos de pastos cultivados y espacios naturales; mosaicos de espacios naturales y pastos; mosaicos de pastos y espacios naturales, superficies de agua, áreas húmedas) y de zonas verdes no agrícolas. Se integraron al análisis de la propuesta las coberturas que registraron mejor índice de conectividad y proximidad entre parches de la misma clase; **c)** Capas oficiales del sistema hídrico dentro del área de estudio (ríos, quebradas, canales, vallados, cuerpos de agua naturales (humedales) y artificiales (reservorios, lagos clubes campestres)); **d)** Capas oficiales de los elementos de la Estructura Ecológica Principal EEP del Distrito Capital (áreas protegidas nacionales, regionales, distritales, estrategias de conservación, rondas hídricas, otras figuras de manejo de conservación del suelo de protección) dentro del área de estudio; **e)** áreas de importancia para la conectividad hídrica superficial y conservación hidrogeológica y del recurso hídrico del norte del Distrito Capital definidas por SDA 2018 – 2021; **f)** Propuesta de conectividad para el norte de Bogotá identificada por Chisacá, Remolina y Secretaría Distrital de Planeación SDP (2007); **g)** Propuesta de conectividad Reserva Forestal Thomas van der Hammen (CAR, 2014) (**Figuras 23 a 30**).



**Figura 23.** Conectividad espacial de coberturas con atributos ecológicos naturales (Bosques, humedales, cuerpos de agua, herbazales y arbustales), coberturas agropecuarias (mosaicos con espacios naturales, pastos limpios, cultivos, pastos enmalezados); Zonas urbanizadas (Tejidos urbanos continuos y discontinuos, zonas industriales y comerciales, vías y redes comunicación).



**Figura 24.** Conectividad de coberturas con atributos ecológicos actuales y aproximación de corredor de conectividad potencial integrando sistema hídrico, suelos de protección de la EEP y otras figuras de manejo y conservación.

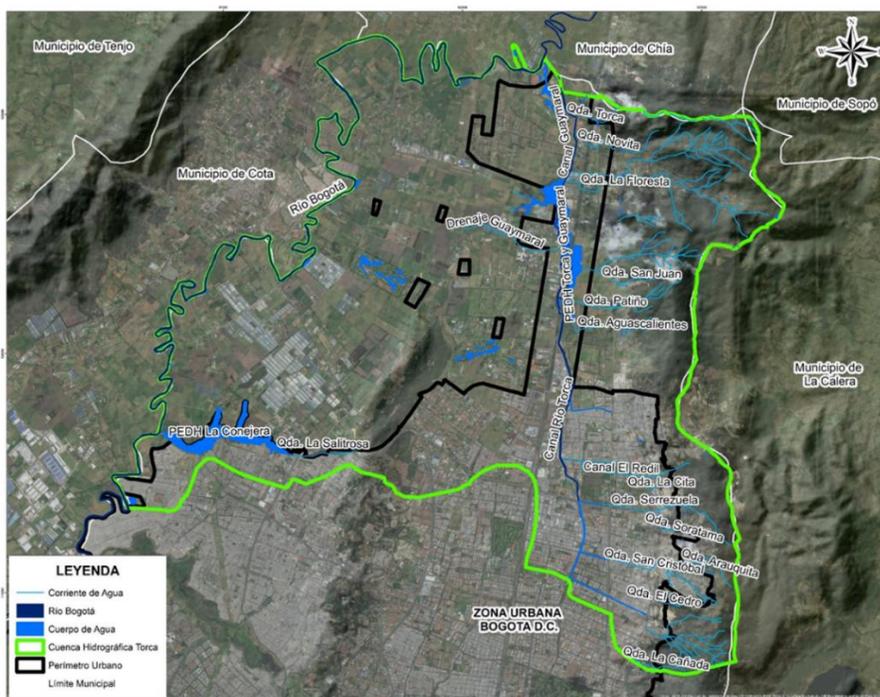
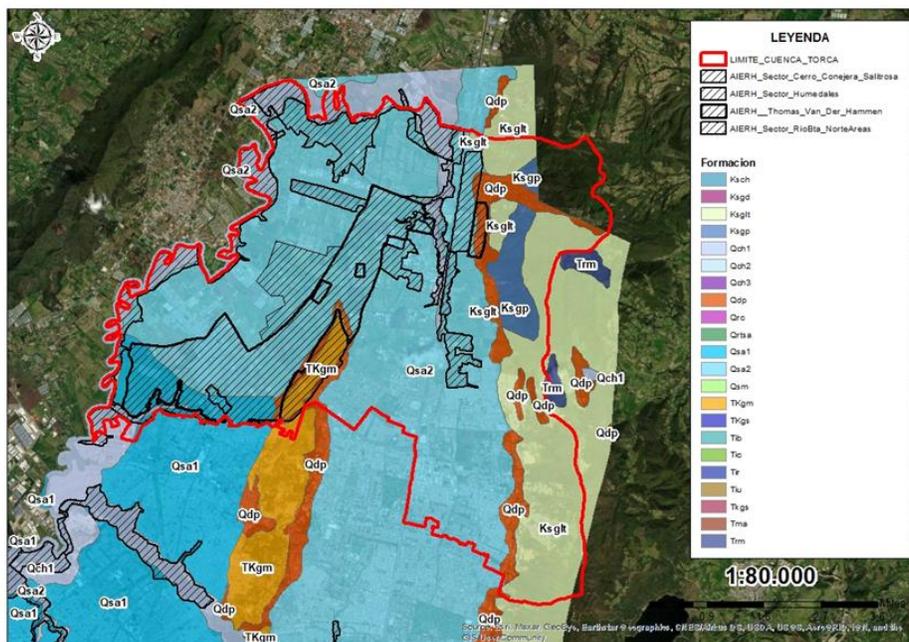
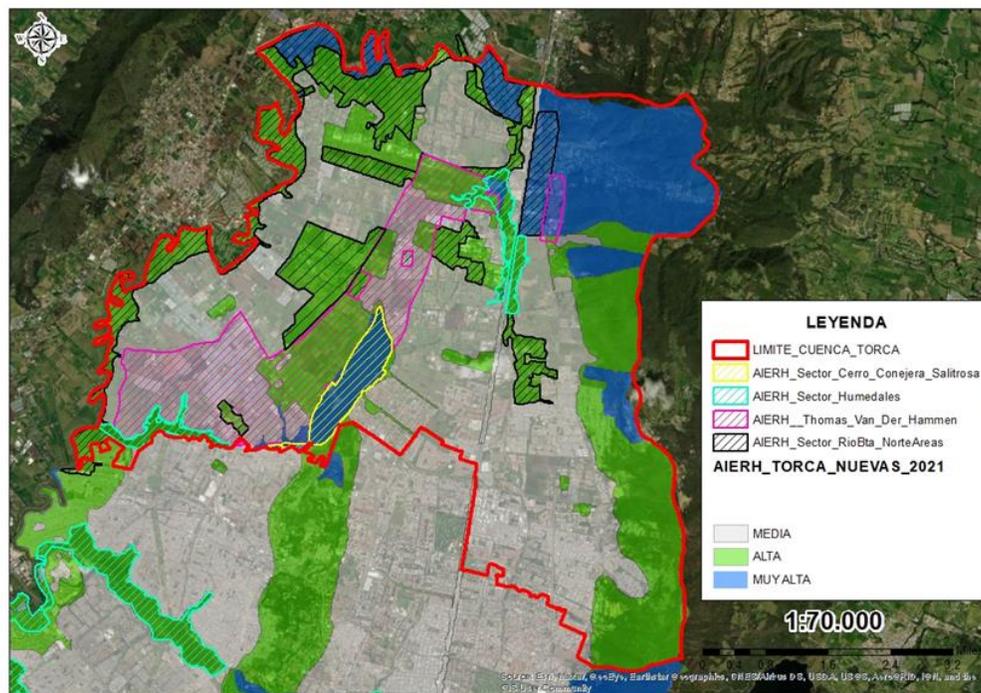
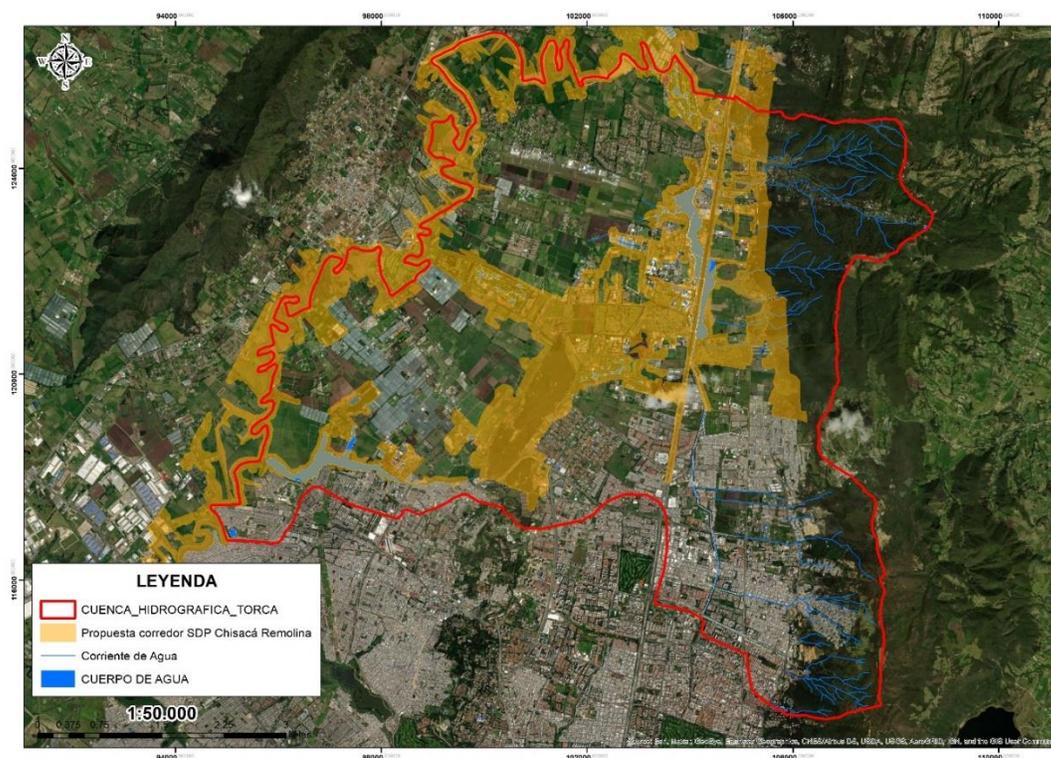


Figura 25. Sistema hídrico superficial dentro del área de estudio

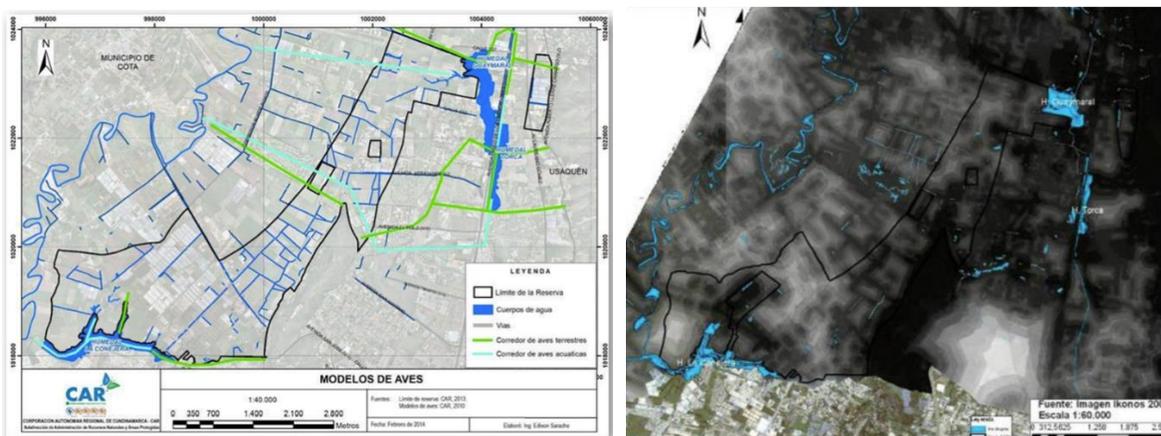




**Figura 26.** Áreas de importancia para la conservación y protección del recurso hídrico SDA 2018-2021.



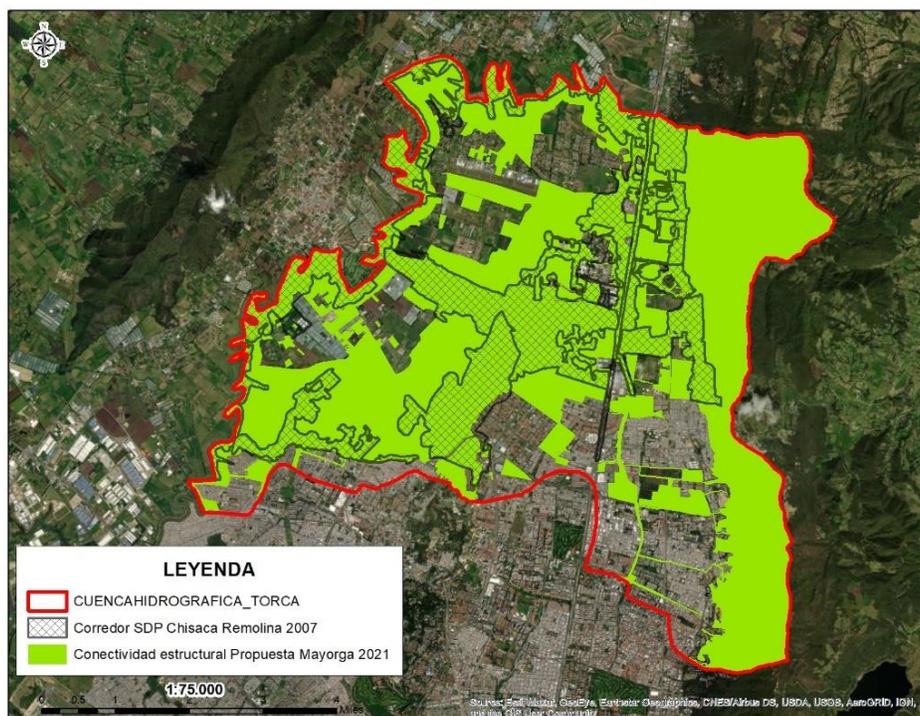
**Figura 27.** Propuesta Corredor de conectividad ecológica propuesto por SDP, Chisacá, Remolina, 2007. Fuente: SDP, Chisacá Remolina 2007.



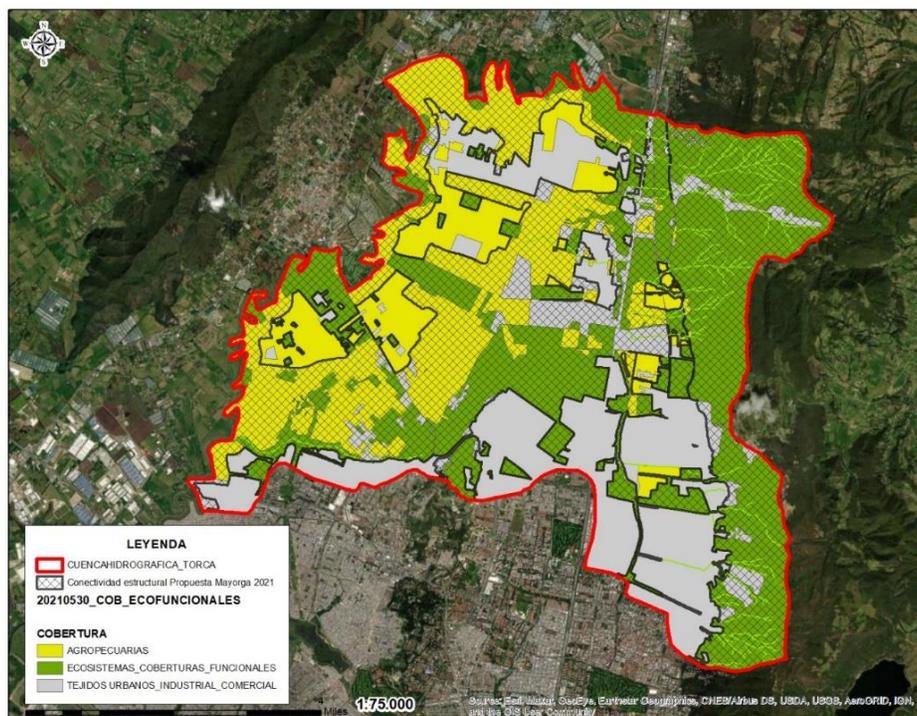
**Figura 28.** Izquierda: Esquema general de principales corredores conectores propuestos para la Reserva Forestal Regional del Norte usando las aves como grupo indicador. En verde corredores para aves terrestres de bosque, en azul claro para aves acuáticas. Fuente: CAR, 2014 tomado de Proyecto Corredor Borde Norte de Bogotá – Fase 1 (CAR et al., 2010). Derecha: Mapa combinado de la conectividad potencial para las especies consideradas en el estudio. Las porciones oscuras al norte de la reserva, al norte del Cerro La Conejera y el relativo aislamiento del bosque Las Mercedes cerca del extremo occidental de la reserva, representan mayor conectividad (en azul cuerpos de agua). Fuente: CAR, 2014 tomado de Proyecto Corredor Borde Norte de Bogotá – Fase 1 (CAR et al., 2010).

La proyección espacial propuesta para mejorar la conectividad estructural tiene un área total de **6731,2 ha** que corresponde al **68,28%** del área total de la cuenca hidrográfica Torca. Esta proyección es una red de áreas con continuidad y proximidad con características de los siguientes componentes espaciales (Salido Pérez 2013):

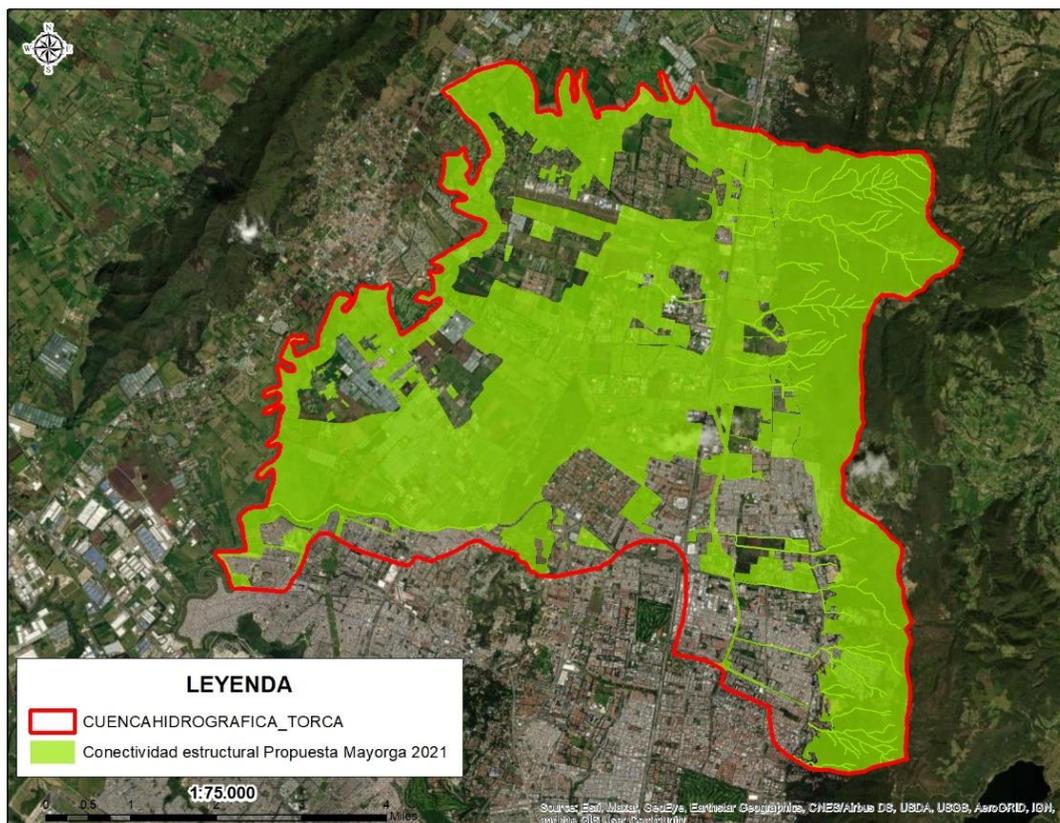
- **Áreas núcleo:** proporcionan condiciones ambientales requeridas para conservar importantes ecosistemas, hábitats y poblaciones de especies. Se identifican en áreas de la reserva de cerros orientales como el parche más grande, y los parches correspondientes al Cerro La Conejera, los Humedales Torca, Guaymaral, La Conejera, El Conejito.
- **Corredores biológicos:** para interconectar las áreas núcleo donde las especies se benefician de la posibilidad de dispersarse y migrar. Conformados por las rondas hídricas de quebradas, ríos y canales, áreas con atributos ecológicos que integran especialmente los humedales de Torca Guaymaral con el Cerro La Conejera, la reserva forestal Thomas van der Hammen, áreas de clubes campestres con cuerpos de agua y coberturas boscosas y herbazales arbustivos como el Club Los Búhos, Club El Rancho, Club Guaymaral, Club Los Arrayanes; y áreas con coberturas de mosaicos agropecuarios y espacios naturales
- **Zonas de amortiguación:** para proteger las redes de impactos potencialmente dañinos procedentes de actividades fuera de la red, así como de la contaminación y el drenaje de terrenos. Áreas con coberturas seminaturales y mosaicos agropecuarios con atributos ecológicos y conectadas y próximas a corredores y parches.
- **Zonas de restauración:** zonas donde las condiciones ambientales deben ser mejoradas. Se ubican espacialmente en todas las áreas incluidas en la propuesta, según las condiciones ecológicas actuales y condición de uso del suelo las trayectorias de restauración son diferenciales.
- **Stepping stones - Estribones:** son pequeñas áreas aisladas que podrían funcionar bien como áreas núcleo para especies individuales, bien como corredores fragmentados. Pero debido a su pequeño tamaño o inadecuada distancia no pueden designarse como áreas núcleo, y debido a la gran distancia entre ellos no pueden servir como corredores. Se encuentran dispersas en sectores urbanos y rurales con dominancia de usos agropecuarios, se identifican parques zonales y metropolitanos y otras áreas verdes urbanas en el sector sur, que pueden cumplir funciones de paso transitorio de especies y aportar a la conectividad estructural, así como, a proveer algunos servicios ecosistémicos de principalmente de regulación y culturales.



**Figura 29.** Proyección propuesta conectividad estructural potencial integrando sistema hídrico, suelos de protección de la EEP y otras figuras de manejo con relación al corredor propuesto por SDP, Chisacá, Remolina 2007.



**Figura 30.** Proyección propuesta conectividad estructural potencial con relación a coberturas urbanizadas, agropecuarias y naturales y seminaturales.



**Figura 31.** Conectividad estructural propuesta de áreas con continuidad, proximidad espacial y con atributos ecológicos actuales. Aproximación integrando sistema hídrico, suelos de protección de la EEP, otras figuras de manejo, coberturas naturales, seminaturales y agrícolas con atributos ecológicos.

#### 4. DISCUSIÓN

El análisis multitemporal y la determinación de la conectividad ecológica estructural, permitieron evidenciar significativas transformaciones ocurridas entre los años **1956 y 2021** en el territorio periurbano del norte de Bogotá, con afectaciones importantes de conectividad a lo largo de la cuenca, pero posibilidades de conectividad en zonas boscosas y reservas naturales. Las zonas de potencial conectividad identificadas pueden ser importantes insumos para la identificación y gestión de áreas de conservación. El análisis de la transformación del territorio mostró que los principales factores de cambio de las coberturas y usos del territorio fueron la expansión urbana, la consolidación de proyectos viales y el establecimiento de zonas agroindustriales de floricultivos. En el caso de la expansión urbana, tejidos urbanos continuos, vivienda campestre, consolidación de la red vial arterial y zonas industriales y comerciales, estas tuvieron mayor lugar sobre áreas agropecuarias (Mosaico de pastos y cultivos reducción de área del **16,02%** tasa de decrecimiento del **-67%**, Pastos reducción de área del **22,65%** y tasa de decrecimiento **-71%**), y sobre ecosistemas acuáticos lénticos de humedal; mientras que por el contrario los bosques incrementaron un **1,3%** y cuerpos de agua como ríos, quebradas, lagos y reservorios aumentaron su área en un **1,02%** con respecto al área total hasta representada en una tasa de incremento del **140%**. Las zonas agroindustriales relacionadas con floricultivos se ubicaron sobre coberturas de pastos limpios y cultivos transitorios. Se encontró que los ecosistemas que más cambiaron fueron los humedales reduciendo el área total en un **7,42%** y tasa de decrecimiento del **-485%** en sectores de la planicie aluvial de los ríos Bogotá y Torca que son ecosistemas de especial importancia ecológica y de estratégicos para la conectividad.

Se encontró que los cambios en coberturas **agropecuarias** se registraron en mayor magnitud en los sectores sur, central y occidental de la cuenca hidrográfica por la aparición de vivienda campestre en el norte y centro, la consolidación de zonas urbanas continuas en el borde sur, y, el establecimiento de zonas industriales, comerciales y de servicios alrededor del eje vial arterial de la Autopista Norte en el centro del área de estudio. En **ecosistemas acuáticos lénticos de humedal** ocurrieron en el sector sur y central alrededor de los humedales Torca y Guaymaral, y norte y occidental humedales El Conejito, La Conejera y otros asociados al río Bogotá (**Figuras 11, 12, 13, 14**). Se determinó que los bosques aumentaron al oriente definido por el segmento de la cadena orográfica de Cerros orientales de Bogotá y Cerro de Torca y se mantuvieron en el Cerro La Conejera que se ubica en el sector sur; mientras los **cuerpos de agua** aumentaron en el sector centro occidental y oriental integrados principalmente a áreas campestres recreativas que se ubicaron sobre anteriores coberturas agropecuarias.

Se identificó una tendencia de transformación periurbana de extensas áreas agropecuarias para establecer usos de suelo relacionados con expansión urbana, vivienda campestre, vías y en menor proporción áreas de conservación de ecosistemas boscosos, que confirman las tendencias registradas en áreas periféricas de Caracas Venezuela, Río de Janeiro Brasil, Ciudad de México D.F., Dhaka, Bangladesh, en donde los procesos de migración y las políticas urbanísticas generan expansión de la ciudad sobre áreas agropecuarias y ecosistemas ubicados en las periferias (De Lisio, 2009) (Andreatta, 2009) (Ahmed B. et al. 2012) (Santos et al. 2015) (Hernández A. 2018); confirmando que la urbanización se presenta principalmente en terrenos con vocaciones eminentemente agrícolas, los cuales por su “ubicación y/o precio se vuelven atractivos para los desarrolladores inmobiliarios (en la mayoría de las ocasiones cuentan con el apoyo de las autoridades locales y/o estatales que les permiten “urbanizar”)” (Santos et al. 2015). Se identificó que para el territorio periurbano de Bogotá D.C., se coincide con lo registrado en México D.F., Sao Paulo, Caracas, Santiago de Chile, donde las políticas de reforma territorial y administrativa de las ciudades latinoamericanas han promovido la urbanización del territorio periurbano, promoviendo la centralización, concentración de la producción y el comercio, la polarización del desarrollo territorial en las ciudades y la conurbación de municipios, provocando desequilibrios territoriales y ambientales expresados en la limitación espacial y fragmentación de los ecosistemas que deben ser conservados (Acuña, 2008) (De Lisio, 2009) (Andreatta, 2009) (Botero y Suarez, 2010) (Santos et al. 2015) (Jean-François y Dangond Gibsone, 2020).

Las observaciones y transformaciones encontradas en estudios multitemporales realizados en ciudades capitales latinoamericanas como Ciudad de México D.F., Río de Janeiro, Sao Paulo, Caracas, Santiago de Chile, Buenos Aires, han mostrado que las políticas territoriales de expansión urbana hacia territorios periurbanos se expresan diferencialmente según la facilidad de acceso a bienes y servicios, las condiciones sociales, ambientales y atributos ecológicos que generen una valoración diferente del suelo (Botero y Suarez, 2010) (Santos et al. 2015) (CEPAL, 2015). Se encontró que esta tendencia de transformación del territorio también se presenta en el territorio periurbano de Bogotá D.C., donde el cambio en el norte ha sido diferente a la registrada en las demás bordes y periferias de la ciudad. Mientras en el norte se presentó una expansión urbana claramente definida en una zona urbana consolidada y consolidación de modelos de agrupaciones de vivienda campestre tipo modelo suburbio americano de alto costo con amplias zonas verdes y centros recreacionales en áreas rurales rodeadas de áreas naturales; en los bordes oriental, occidental y sur de la ciudad se establecieron modelos históricos de expansión formal e informal dispersos, promovidos por estrategias de urbanización legal e ilegal, que consolidaron asentamientos marginales con alta densidad poblacional, con restricciones de acceso a servicios, segregadas espacialmente y receptores de impactos ambientales producto del desarrollo de la ciudad (U.N. CAR, 2011) (Santos et al. 2015) (Jean-François y Dangond Gibsone, 2020).

La tendencia de consolidación de coberturas urbanas, vivienda campestre, corredores viales intermunicipales, áreas recreativas rurales y zonas comerciales sobre áreas agropecuarias y de humedales, tuvo como origen los procesos de parcelación de alto costo en este sector de la periferia de Bogotá D.C., derivado de la especulación del valor del suelo por las altas expectativas de desarrollo inmobiliario (Botero y Suarez, 2010) (Jean-François y Dangond Gibsone, 2020) promovidas a partir del proceso administrativo de Estatuto Orgánico de Bogotá que anexo a la capital en el año 1954 los antiguos municipios de la periferia; y, la emisión en el año 2000 del Plan de Ordenamiento Territorial POT. Estas políticas públicas incidieron en los procesos de libre concentración y mercado de tierras para la posterior parcelación del territorio periurbano en detrimento de áreas agrícolas y de los ecosistemas. Estas causas y efectos de la transformación de las periferias urbanas también fueron registrados en Santiago de Chile (Acuña, 2008) y Ciudad de México D.F. (Santos et al. 2015) ciudades en las que la expansión de las áreas urbanizadas se efectuó en desmedro de los sectores rurales circundantes”, pero también en las últimas cuatro décadas hacia sectores con importancia ambiental, ecosistemas locales o en condición de riesgo.

**La dinámica de cambio ha sido diferente en el tiempo, con periodos de rápida transformación creciente en el periodo 1956-1977 con mayor aceleración y transformación en el periodo 1977-1998** principal y drásticamente con reducción en coberturas de ecosistemas de humedales y coberturas agropecuarias de cultivos y pastos, y, aumento en coberturas de tejidos urbanos continuos, discontinuos, cultivos bajo invernaderos y otras zonas artificializadas; **pero luego con una desaceleración en el último periodo 1998 – 2021** en el cual se encontró menor cambio de coberturas. Las coberturas urbanizadas, bosques y cuerpos de agua consolidaron el área ocupada y registraron menor expansión durante las últimas dos décadas; los ecosistemas lénticos de humedal mantuvieron su área y coberturas agropecuarias se redujeron en menor proporción. Esto indica que en los últimos años para las áreas urbanizadas la expansión se ha realizado de manera más controlada en función de la consolidación del borde norte urbano de Bogotá; mientras los bosques, cuerpos de agua y ecosistemas de humedales mantienen su ubicación y áreas, convirtiéndose en límites de contención de los procesos de crecimiento urbano y zonas estrategias para la conservación y conectividad ecológica (Santos et al. 2009). Esta condición se explica en el desarrollo e implementación de decisiones de políticas públicas de conservación y de consolidación urbana, que ubican las áreas periurbanas como territorios que históricamente se convierten en escenarios de tensiones entre la expansión urbana y su contención a través de procesos de conservación de valores ecológicos y servicios ecosistémicos, restauración ecológica y regulación del suelo de protección (Santos et al. 2009) (U.N. CAR, 2011).

Se encontró que entre el 1956 y 2021 en el territorio periurbano del norte de Bogotá, hubo una tendencia a la heterogenización y diversificación de las coberturas por el aumento del número de parches y tipos de clases de coberturas en el tiempo. Se evidenció una transición de un paisaje agropecuario y natural con mayor homogeneidad en el año 1956 definido por una matriz agropecuaria con fragmentos de bosques, áreas seminaturales y ecosistemas acuáticos de humedal; a un paisaje tipo mosaico en el año 2021 sin predominancia de una cobertura específica, donde actualmente las áreas naturales, agropecuarias y urbanizadas representan porcentajes proporcionales del territorio que se encuentran distribuidos diferencialmente en el área. Esto contrasta con lo encontrado por Acuña (2008) De Lisio (2009) Andreatta, (2009) Santos et al. (2009; 2015) en Santiago de Chile, Caracas, Rio de Janeiro, Ciudad de México D.F., en donde la transformación histórica del territorio periurbano modificó el paisaje con predominancia de la matriz agropecuaria y configuro un paisaje actual definido por la predominancia de una matriz urbana y de tejidos urbanos discontinuos.

**El análisis de conectividad estructural muestra que las coberturas de la misma clase con mayor fragmentación, reducción de hábitat y pérdida de continuidad espacial fueron las áreas húmedas de ecosistemas de humedales, mientras las áreas agropecuarias de cultivos y pastos presentaron reducción y aumento de cantidad de fragmentos; mientras que, existe mayor conectividad y proximidad espacial entre coberturas de diferentes clases con atributos ecológicos y continuidad espacial.** Se encontró, que actualmente la mejor conectividad se expresa entre las coberturas de bosques, áreas seminaturales, áreas húmedas continentales de humedales, superficies de agua, pastos arbolados, pastos enmalezados, pastos limpios, áreas verdes recreativas con cuerpos de agua; todas coberturas con atributos ecológicos y ambientales y con potencial de conectividad ecológica que representan el **39,85%** del territorio, y, por tanto, son áreas con altas posibilidades de plantear manejos para conservar y ampliar conexión entre los elementos del paisaje y diferentes áreas naturales con categorías de protección (CAR, 2014) (Ramírez et al. 2008) (Chisacá y Remolina 2007). La conectividad ecológica estructural de las coberturas ecológicamente funcionales mostró una pérdida durante el periodo 1956-1998, y una estabilidad y aumento en el año 2021; resultado que indica una leve mejoría en las últimas décadas y la necesidad de planear y gestionar la conservación y manejo adaptativo de áreas potenciales para reducir distancias y conectar parches de diferentes clases de coberturas como bosques, con ecosistemas de humedal, zonas riparias y mosaicos agropecuarios con espacios naturales. Esto coincide con los resultados obtenidos para potenciales corredores de conectividad en zonas urbano rurales del sur, oriente y norte de Bogotá D.C. en los que se propone que ante la alteración de las condiciones originales de los ecosistemas, la fragmentación y reducción de hábitats, es necesario integrar diversas coberturas potenciales para la restauración ecológica y conservación, que permitan recuperar y aumentar la conectividad ecológica local y regional (Ramírez et al. 2008) (Chisacá y Remolina 2007). Se encontraron procesos de fragmentación, pérdida, disección, perforación, reducción de hábitats de coberturas naturales, seminaturales y agropecuarias (Bogaert et al. 2004) (Saura 2019); que, concuerdan con los resultados de análisis y dinámicas de conectividad y fragmentación ecológica registrados en las áreas de expansión urbana de Ciudad de México D.F., Santiago de Chile, Rio de Janeiro Acuña (2008) De Lisio (2009) Andreatta, (2009) Santos et al. (2009; 2015); donde estas coberturas son las que presentan más tipos de alteraciones en el tiempo por efecto de cambios de uso del suelo relacionados con la urbanización. Adicionalmente, para el periodo de tiempo analizado, los procesos de agregación que se registraron para

los bosques que registraron constancia y aumento de áreas, de la misma manera que en Caracas y Rio de Janeiro, permitiendo la conservación de ecosistemas boscosos que ha estado influenciada principalmente por la gestión de actores sociales e institucionales que han promovido la implementación de políticas de conservación de reservas forestales nacionales, regionales y locales (Acuña, 2008) (De Lisio, 2009) (Andreatta, 2009) (Santos et al., 2009; 2015);.

Se encontró que las áreas de los parches más grandes que representan mayor porcentaje de paisaje corresponden a las coberturas de bosques, zonas urbanas, pastos, cultivos y áreas agrícolas heterogéneas; consecutivamente pastos arbolados, enmalezados y limpios, zonas verdes artificializadas no agrícolas y cultivos transitorios. Actualmente el paisaje se expresa como un mosaico de poca dominancia de coberturas específicas, en el cual coberturas naturales de bosques y áreas seminaturales dominan sectores específicos del paisaje, de la misma manera ocurre con los tejidos urbanos continuos que dominan el sector sur de la cuenca en 2021. Las dinámicas de transformación se expresaron en el cambio del tamaño de parches en el tiempo y mostró que en 1956 los tamaños de los parches fueron más homogéneos en las coberturas agropecuarias y naturales dominantes, permitiendo mayor tamaño, menor distancia entre coberturas y mejor continuidad en el paisaje; en 1977 en el sector oriental de la cuenca se registraron mayor cantidad de parches con menores tamaños que indicaban un proceso dinámico de cambio sobre coberturas agropecuarias y de humedal reduciendo significativamente su tamaño; en 1998 aumentaron los parches generando un efecto de reducción de área principalmente de los parches en coberturas naturales y agropecuarias; aumentaron tamaños de coberturas artificializadas dispersas en el área; en 2021 se evidenció un menor aumento de parches en el paisaje, se reducen las áreas de los parches con coberturas agropecuarias, aumentaron tamaños de coberturas artificializadas que consolidadas en áreas continuas, los parches de bosques aumentan su área en una baja magnitud.

La continuidad y aumento de áreas de bosques, concuerda con dinámicas administrativas desarrolladas entre el periodo de los años 1974 y 2000, en el cual las acciones de gestión social e institucional de políticas de conservación de ecosistemas boscosos en el altiplano de la denominada “Sabana de Bogotá” se orientaron a la protección de los bosques, siendo mecanismos fundamentales en la conservación de las áreas con presencia de estos ecosistemas en el territorio periurbano del norte de Bogotá. El aumento encontrado para las áreas con coberturas de bosques tiene relación con políticas públicas de conservación que generaron la emisión de legislaciones ambientales como el Código Nacional de Recursos los Naturales y el Ambiente Decreto Ley 2811 de 1974, que antecedió la delimitación y declaratoria de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá RFPBOB en el año 1976 debido a la importancia atribuida a estas coberturas en la regulación hídrica y la protección del paisaje de los cerros como servicio cultural de la región (CAR, 2004) (MADS, 2016). Adicionalmente, se encontró que la gestión ciudadana que promovió acciones y fallos jurídicos para la protección de ecosistemas boscosos y acuáticos existentes; la firma en el año 1991 de la nueva Constitución Política de Colombia CPC; y, la emisión de la Ley general de ordenamiento territorial y otras normatividades ambientales; permitieron declarar en el año 2000, nuevas áreas protegidas distritales de ecosistemas boscosos consolidando polígonos grandes y continuos de bosques. A diferencia de los bosques, para el caso de ecosistemas acuáticos de humedal con limitantes espaciales derivadas de la reducción y transformación de estos ecosistemas desde el año 1956 hasta el año 1998. Se evidenció que si bien el país suscribió en el año 1971 la “Convención RAMSAR relativa a los Humedales de Importancia Internacional”; la gestión social e institucional se convierte en acciones de políticas públicas de conservación a partir de 1990 y con mayor contundencia desde el año 2000 logrando institucionalizar la Política Pública de Humedales en el año 2007 y declarar el complejo de humedales urbanos RAMSAR de Bogotá en el año 2018. Esta condición se concreta con la delimitación de áreas protegidas de humedal específicas para Bogotá D.C. que tienen instrumentos de manejo ambiental y estrategias de restauración ecológica que han permitido mantener las áreas de estos ecosistemas desde el año 1998 y proponer proyecciones de rehabilitación de áreas adicionales que históricamente correspondían a humedales y que fueron alteradas por usos agropecuarios y agroindustriales.

En las coberturas agropecuarias, de ecosistemas de humedal, herbazales inundables, bosques abiertos inundables y áreas seminaturales se identificó una tendencia al aumento del número de parches y la reducción de su tamaño, incidiendo en un mayor distanciamiento de coberturas con atributos ecológicos, reducción y aislamiento de hábitats, limitantes en el flujo de la biodiversidad y de conectividad ecológica; mientras coberturas zonas urbanas, industriales y comerciales alrededor de las redes viales aumentaron su número y tamaño. Los índices de tamaño, forma, proximidad y distancia de los parches registrados en la investigación, indican procesos de fragmentación y pérdida de continuidad de coberturas de ecosistemas acuáticos de humedal y su conectividad en el paisaje, mejorando entre coberturas de diferentes clases (Bogaert et al. 2004) (Saura 2019). En términos biológicos la reducción de las superficies de los parches determina una limitante de la diversidad que se presenta en su interior y de aquella que sea

susceptible de utilizar estas áreas para movilizarse. Estos registros concuerdan con los análisis del paisaje asociadas a territorios urbanos, periurbanos y de transición urbano-rural que indican que la conectividad ecológica toma relevancia en la gestión del territorio, debido a que en el mediano y largo plazo, la existencia de áreas protegidas con ecosistemas aislados resultan no ser funcionales y eficientes para la protección de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos que proveen (McArthur y Wilson 1963) (Forman R. y Godron M., 1986) (Wilson, 1992) (Forman, 1995) (Vila Subiriós et al., 2006).

- **Proyección de corredor de conectividad**

Con la investigación se identificaron dos escenarios principales de transformación de las coberturas del territorio para los periodos analizados: **El primer escenario** muestra que las transformaciones del territorio relacionadas con el aumento de usos urbanos y de servicios, se presentó por cambio de usos del suelo sobre áreas que históricamente tuvieron usos agrícolas y ganaderos coincidiendo con estudios de (Hernández et al. 2012) para la ciudad de Catapilco Valparaíso Chile donde áreas de vivienda se consolidaron sobre anteriores coberturas agropecuarias, matorrales y herbazales; así como, en áreas naturales de planicie relacionadas con ecosistemas lénticos y lóticos de humedales y quebradas, zonas inundables del valle aluvial de los ríos Bogotá y Torca. Estas áreas de cambio se encuentran alrededor del 29,95% del territorio, representando una tendencia de presión de los bordes urbanos hacia las áreas periurbanas y otras rurales. El aumento de las coberturas antrópicas asociadas a procesos de urbanización, indican que la expansión urbana de la ciudad hacia las zonas periurbanas del norte, ha sido el principal factor de cambio de las coberturas en el territorio, especialmente en el sector sur y central del área. Esta realidad, evidencia que el paisaje en áreas periurbanas se transforma y configura en función de la dinámica de usos que la sociedad establece territorio; coincidiendo con Ramírez (1990) quien expresa que *“el territorio es en primera instancia una construcción socio-espacial, que requiere de la evocación constante del binomio territorio-poblaciones; mediante el proceso de colonización de las tierras, se crean territorios y procesos históricos de producción, mercado, vida común, sentidos de pertenencia, uso de la naturaleza”*; y con Marrull y Mallarach (2002) quien describe que en las áreas urbanas y periurbanas el aumento escalado de los disturbios generados por la urbanización agudiza la transformación de los ecosistemas y concentra los usos agropecuarios y urbanos, reflejándose en un aumento en la intensidad, frecuencia y magnitud de los impactos ambientales. Este fenómeno genera la fragmentación de los ecosistemas naturales, configurando paisajes mixtos con diversos y numerosos tipos de matrices y parches (o componentes disfuncionales), dispersos entre ellos, que pueden tener escasa conectividad y funcionalidad ecológica (Marrull et al., 2006).

**El segundo escenario de transformación** muestra que en los últimos años se observa en diferentes sectores de la periferia del norte de Bogotá una tendencia baja de aumento de coberturas naturales y ecológicamente funcionales como los bosques que aumentaron el 1,06% para el periodo total de análisis, y otras coberturas como superficies de agua, áreas húmedas, pastos arbolados, pastos enmalezados que se encuentran en áreas como el Bosque Las Mercedes, la reserva forestal de Cerros Orientales, sectores de corredores riparios de quebradas, coberturas dentro de límites legales de humedales; en las cuales se registran áreas con procesos sucesionales secundarios y de restauración ecológica asistida en suelos con diferentes categorías de protección y que hacen parte de la EEP del Distrito Capital de Bogotá. Esto coincide con resultados sobre la dinámica espacio-temporal en los estudios de Hernández et al. (2014) desarrollados en áreas mediterráneas de Chile en donde se evidenció que *“los cambios de uso del suelo detectados durante el tiempo analizado, modificó en gran medida la configuración del paisaje patrones, alterando tanto sus aspectos estructurales como funcionales. Sin embargo, a pesar de los constantes cambios en el uso del suelo, el abandono de tierras agrícolas y su posterior conversión a coberturas con mayor atributo ecológico, permitió la generación de una dinámica de sucesión vegetal hacia bosques, dinámica que desencadenó incrementos en la conectividad funcional; destacando la importancia de los diferentes tipos de coberturas seminaturales y sucesionales para la conectividad funcional y para el mantenimiento de la heterogeneidad del paisaje”*.

Este escenario también supone un efecto positivo de los procesos de delimitación y declaratoria de suelos de protección y encontrando que las áreas de protección han permitido restablecer coberturas de importancia ambiental y ecosistémica, y ser objeto de estrategias de preservación, conservación, protección, y restauración ecológica. Se encontró que otro potencial y oportunidad para el aumento de la conectividad ecológica, la conservación y el manejo adaptativo en áreas periurbanas es la gestión de áreas protegidas, ecosistemas y suelos de protección ambiental existentes, que para el área de estudio actualmente corresponden al **49,72%**. Este escenario es una oportunidad estratégica de gestión de la conservación para contener y hacer frente a los efectos de la transformación del territorio por procesos urbanísticos y económicos que han determinado la historia de la periferia de Bogotá.

Se proyectó espacialmente una propuesta de corredor con áreas continuas y próximas de conectividad estructural multidireccional y multifuncional para el contexto periurbano del norte de Bogotá D.C., determinado a partir de las coberturas actuales con atributos ecológicos, potenciales de conservación, sistema hídrico y suelos de protección que generan conectividad ecológica, y, que actúan como una red ecológica de espacios (parches, corredores, estribones) interconectados que permiten continuidad espacial y flujo de biodiversidad (Forman & Godron, (1986) y Bennett y Wit, 2001). Este corredor proyectado, coincide con áreas de conectividad propuestas por (Ramírez et al. 2008) (Chisacá y Remolina 2007) para esta área periurbana; **adicionalmente, propone nuevas áreas adicionales que tienen continuidad espacial, proximidad y conectividad estructural y ecológica.** El planteamiento de la propuesta de corredor conectividad multidireccional y multifuncional, incluye el enfoque de la planeación del tejido de los espacios verdes y los ecosistemas urbanos y periurbanos, como estrategia que permita la armonización e integración entre la ciudad con el ámbito urbano-rural más cercano, orientado al aumento de los servicios ecosistémicos en las ciudades, el manejo adaptativo y la conservación de la biodiversidad; además, evidenció que la gestión de los espacios verdes y los ecosistemas periurbanos debe reducir los impactos del crecimiento urbano en los territorios rurales, sirviendo de contención a tensionantes ambientales y limitando la expansión urbana; superando las miradas clásicas de la ciudad donde el enfoque se centra en el deterioro que genera la ciudad y no en su potencial como territorio para la generación de bienes y servicios ecosistémicos (Wackernagel et al., 2006) (Gaston et al., 2013). A la propuesta de conectividad se integra el análisis propuesto por Haines y Young (2010) (Goddard M. et al, 2010) y Abson et al., (2020), que indican la necesidad de un cambio de enfoque en la demanda y oferta de recursos rurales hacia la ciudad, proponiendo encontrar en la ciudad y sus periferias un proveedor de insumos, en ocasiones sustitutos de los requeridos de la ruralidad como mecanismo que minimice los efectos e impactos de las ciudades en los territorios de la región.

## 5. CONCLUSIONES

El estudio determinó que la permanencia y los cambios de uso del suelo estuvo influenciada por los procesos de urbanización y por dinámicas de restauración y conservación ambiental. Los hábitats forestales de bosques aumentaron, mientras los ecosistemas acuáticos de humedal se redujeron; mostrando una tendencia de cambio de tamaño y forma de áreas naturales y agrícolas; en la cual influyó la implementación de políticas de conservación como la declaratoria de áreas protegidas nacionales, regionales y distritales y otras estrategias complementarias de conservación en el área y de urbanismo orientado a la consolidación de expansión urbana mediante planes zonales de expansión inmobiliaria que ejercen históricamente presión o protección sobre los ecosistemas (Pauleit y Golding, 2005).

Se identificó un efecto del cambio sobre los ecosistemas, que consiste en la pérdida progresiva de la conectividad del paisaje naturales y agropecuario que predominaba entre 1956 y 1977, debido al importante cambio en la composición y estructura del paisaje, producto de los factores económicos de cambios de uso del suelo para consolidar y ampliar actividades de industria y servicios y sociales asociados a la demanda inmobiliaria que impulsan fenómenos de expansión de la ciudad, áreas industriales y comerciales. Se evidenció que los disturbios generados por el desarrollo urbano son eventos discretos que alteran las estructuras y funciones de los ecosistemas; y que, paralelamente la gestión e implementación de políticas de delimitación y declaratoria de áreas de protección de ecosistemas existentes en territorios periurbanos de grandes ciudades latinoamericanas como Bogotá D.C., permiten mantener, proteger y conservar áreas naturales y seminaturales de ecosistemas terrestres y acuáticos ubicados en las periferias (Marull et al., 2006).

La transformación del territorio periurbano de Bogotá D.C. ha sido generada por los procesos de expansión urbana, industrialización y consolidación de corredores viales, generando la pérdida de áreas agropecuarias, de ecosistemas acuáticos y boscosos, así como, la reducción de la conectividad ecológica afirmando procesos similares registrados en ciudades capitales latinoamericanas. A pesar de la transformación de las coberturas agropecuarias y naturales de ecosistemas de humedal en áreas periurbanas, la presencia de delimitaciones de suelo con categorías de protección ambiental e incluidos como elementos de la Estructura Ecológica Principal – EEP representan el **49,72%** del área total del territorio periurbano del norte de Bogotá D.C., constituyendo un potencial para la gestión de la conservación de la biodiversidad, de los servicios ecosistémicos y el aumento de la conectividad ecológica de la periferia de la ciudad con la región. Pese al estado de transformación y aumento de áreas con coberturas artificializadas, el escenario de aumento de áreas de bosques y otras con atributos ecológicos, indican que el territorio periurbano del norte de Bogotá mantiene atributos de interés ambiental y alberga posibilidades de preservación, conservación y restauración ecológica

que mejoren la conectividad ecológica entre el sistema de cerros orientales y el río Bogotá, y, mantengan y aumenten los servicios ecosistémicos del territorio periurbano del norte.

Se determinó que las coberturas de la misma clase con mayor fragmentación de hábitat y pérdida de conectividad ecológica fueron las áreas húmedas de ecosistemas de humedales y las áreas agropecuarias; y, que existe mayor conectividad ecológica entre coberturas de diferentes clases con atributos ecológicos y continuidad espacial como bosques, cuerpos de agua, humedales, áreas verdes no agrícolas y pastos. La orientación de la gestión del territorio periurbano debe estar enfocada en favorecer la conservación de áreas con alto índice de conectividad e implementar la restauración ecológica de coberturas que generen continuidad espacial y materialicen corredores de flujo de biodiversidad.

La gestión del territorio periurbano debe integrar la conservación y la continuidad espacial de los ecosistemas, del suelo de protección y espacios verdes urbanos proponiendo objetivos de conectividad ecológica local y regional. La gestión las periferias en ciudades capitales requiere de la integración de criterios de conectividad ecológica que incluya en las políticas con mayor conocimiento histórico las funciones ecológicas, sociales y territoriales de los ecosistemas, áreas agropecuarias y espacios verdes urbanos; armonizadas con los núcleos urbanos, bordes de la periferia e infraestructuras propias de la ciudad y su periferia (Forman, 1995) (Farina, 2006) (Alberti y Susskind, 1996) (Alberti et al., 2003). En este contexto, procesos sociales e institucionales orientados a la protección y conservación de los ecosistemas y atributos ecológicos del territorio, han promovido políticas públicas ambientales, delimitación y declaratoria de áreas con diferentes categorías de protección ambiental que operan como contención a los procesos de expansión urbana y deterioro ambiental; adicionalmente, son estrategias de conservación que armonizan las relaciones ambientales entre la ciudad y su periferia; orientan una ciudad adaptada y resiliente a las dinámicas de cambio, con gestión y manejo adaptativo para la conservación de ecosistemas, restauración ecológica de áreas degradadas, y mejoramiento y aumento de la conservación de los servicios ecosistémicos.

Los resultados de la investigación permiten concluir que la conectividad ecológica en el territorio periurbano de Bogotá D.C., debe facilitar sinergia de los ecosistemas boscosos asociados al sistema orográfico de cerros con los acuáticos y terrestres existentes en la planicie aluvial, y, con coberturas seminaturales y mosaicos agropecuarios con espacios naturales potenciales para consolidar corredores que permitan el flujo de biodiversidad y el equilibrio entre los componentes ecológicos, agrícolas y urbanos que componen el paisaje periurbano.

## 6. RECOMENDACIONES

Se debe profundizar en el análisis cualitativo y cuantitativo de la conectividad y fragmentación ecológica que permita ampliar el conocimiento de la conectividad correspondiente a las relaciones espaciales de las áreas identificadas y de la conectividad funcional que relaciona flujos a través del paisaje con características ecológicas de las especies incluyendo características del paisaje que facilitan o impiden el movimiento de especies entre parches de hábitat.

Adicionalmente, se recomienda ampliar el análisis multitemporal y de conectividad realizado a los territorios periurbanos ubicados en los bordes oriental, occidental y sur de Bogotá D.C. para contrastar elementos comunes y divergentes de la realidad territorial de cada sector de la periferia de la ciudad.

La proyección del corredor de conectividad multidireccional y multifuncional y los argumentos técnicos y conceptuales obtenidos para su delimitación; pueden ser considerados como insumo de conocimiento que se integre y contraste con las estrategias de conectividad y definición ajuste de categorías de suelos de protección que actualmente se han considerado en el marco del actual proceso de ajuste estructural y revisión general del ordenamiento territorial de Bogotá D.C.. Adicionalmente, se propone integrar los resultados de la investigación y la proyección del corredor de conectividad a los componentes técnicos, conceptuales y programáticos de instrumentos de gestión territorial como el Plan de Ordenamiento Territorial POT, urbanísticos como el Plan Zonal del Norte y de manejo ambiental Planes de Manejo Ambiental PMA de áreas protegidas y estrategias de conservación y delimitación de rondas hídricas de corrientes y cuerpos de agua con influencia en el territorio periurbano del norte de Bogotá D.C., permitiendo cambios en la visión de intervención y manejo del territorio.

El corredor de conectividad propuesto, es un área para el desarrollo de estrategias de conservación y restauración ecológica enmarcadas en un enfoque de manejo adaptativo; el cual debe planearse y ser consolidado en función de los servicios ecosistémicos que puede generar (aprovisionamiento, regulación, soporte y culturales); además, convertirse en un elemento espacial y funcional de un sistema articulado, de flujos ecológicos, de un tejido físico-biótico que da vigor, dinámica y vida a la periferia, la ruralidad y la ciudad. Para la consolidación de la conectividad propuesta se propone ampliar el conocimiento en estrategias de manejo adaptativo, restauración ecológica y conservación de la biodiversidad y los atributos ecológicos del norte de Bogotá.

Incorporar los resultados y análisis de la investigación a los procesos de ajuste y formulación de políticas y lineamientos técnicos y administrativos para la gestión y manejo de los bordes urbanos y las áreas periurbanas de Bogotá D.C., y de ciudades capitales colombianas y latinoamericanas.

Dada la importancia de las actuales áreas identificadas en el territorio periurbano norte de Bogotá D.C., que tienen atributos ecológicos, continuidad espacial estratégica para la conectividad estructural y ecológica, el manejo adaptativo y la conservación de la biodiversidad, se recomienda que no sean intervenidas con proyectos urbanísticos que cambien negativamente sus condiciones biofísicas; por el contrario estas coberturas y áreas deben ser objeto de estrategias de conservación diversificadas y restauración ecológica que aumente la conectividad ecológica y los servicios ecosistémicos que prestan.

## AGRADECIMIENTOS

A la Doctora Angela Hernández y el Doctor ingeniero Wilson Fernando Gómez evaluadores constructivos de esta investigación y el equipo de docentes de la Maestría en Manejo Uso y Conservación del Bosque de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas que orientaron y guiaron el proceso académico e investigativo expresando con amplitud ideas constructivas; al ingeniero Cesar Andrés Vivas Medina que asesoró el manejo de las herramientas de análisis espacial multitemporal; a la profesora Nelly Lucía Guzmán García quien orientó la identificación de aspectos históricos para el análisis de transformación del territorio urbano y periurbano; al maestro Mario Mayorga, la ingeniera Ariadna Barrios y doctora Tania Barrios que ampliaron los enfoques para la interpretación de los resultados la investigación.

## REFERENCIAS

- Abson D. J., Balázsi A., Fischer J., Riechers, M., (2020). “The influence of landscape change on multiple dimensions of human–nature connectedness”. *Ecology and Society* 25(3):3.
- Acuña F., (2008). “Santiago de Chile: antecedentes demográficos, expansión urbana y conflictos”. En: *Revista de Urbanismo*, N°18, Santiago de Chile, publicación electrónica editada por el Departamento de Urbanismo, F.A.U. de la Universidad de Chile, junio de 2008, I.S.S.N. 0717-5051.
- Aguilera B. F. (2010). “Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. Laboratorio de Planificación Ambiental. Universidad de Granada Campus de Fuente Nueva. Edificio Politécnico s/n CP. 18071. 2010, vol. 30, núm. 2 9-29.
- Alberti, M., Susskind, L. (1996). Managing urban sustainability: Introduction to the special issue. *EIA Review* 16, 213–221.
- Alberti, M., Bradley, G., Marzluff, J., Shulenberg, E., Ryan, C. and Zumbrunnen, C. (2003). Integrating humans into ecosystems: Opportunities and challenges for urban ecology. *BioScience* 53, 1169–1179.
- Alberti M., (2005). The Effects of Urban Patterns on Ecosystem Function *International Regional Science Review* April 2005 28:168-192.
- Alcaldía Mayor de Bogotá (2021). Decreto 555 de 2021 “*Por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.*”
- Ahmed B. (2012). Modelado de la dinámica del crecimiento de la cobertura del suelo urbano utilizando imágenes satelitales multitemporales: un estudio de caso de Dhaka, Bangladesh. 1-13.

- Andreatta V., (2009). Rio de Janeiro: planes de ordenación y orígenes de la urbanística carioca. Ordenación del Territorio. Universitat Politècnica de Catalunya. 1-12.
- Armenteras, D., & Vargas, O. (2016). Patrones del paisaje y escenarios de restauración: acercando escalas. *Acta biológica colombiana*, 21(1), 229-239.
- Avellaneda C. A., (2007). Gestión Ambiental y Planificación del Desarrollo “El sujeto ambiental y los conflictos ecológicos distributivos”. Ecoe ediciones. Segunda Edición.
- Bastidas G.E., Naranjo M. L., (2020). “Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y su efecto en los caudales máximos para la cuenca del río Guaguá en el municipio de barbacoas, Nariño”. 19-22 p.
- Baudry J., Burel F., (2003). *Landscape Ecology: Concepts, Methods, and Applications*. 45-119.
- Bennett, G. y P. Wit. (2001). El desarrollo y aplicación de redes ecológicas, revisión de propuestas, planes y programas. UICN, Gland, Suiza, y AID Environment, Holanda. 132.
- Bernal, S. M., & Prado, C. A. (2015). “Análisis de la influencia de la cobertura vegetal en la generación de caudales de la cuenca de la quebrada granadillo en los años 1993 y 2009 a partir de aerofotografías y cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi”. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- Bogaert J., Ceulemans R, Salvador D., Van Eysenrode., (2004). Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation. 33(1):62-73.
- Botequilha-Leitão A.; Ahern J.; Miller J.; McGarigal K. (2006). “Measuring Landscapes: A Planner's Handbook”. Publisher: Island Press ISBN: 1-4020-3978-6.
- Botero, L. S., (1982). La cuenca hidrográfica y el desarrollo regional. División de recursos forestales. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. En Primer Congreso Nacional de Cuencas Hidrográficas. Medellín, Colombia.
- Botero, M. H., y Suárez E. C. (2010). Bogotá y la descentralización intraterritorial: crónica de una historia inconclusa. Universidad del Rosario.
- Brandt J., (2003). Multifunctional landscapes - Perspectives for the future. Roskilde University. 15(2):187-92.
- Brenes, C. (2009). Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo y dinámica del paisaje en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca. Talamanca, Costa Rica.
- Burel; Baudry (2003). “Landscape Ecology Concepts Methods and Applications”. 47-56.
- Busquets, J., Cortina, A. (2009): Gestión del paisaje. Manual de protección, gestión y ordenación del paisaje. Barcelona Investigaciones Geográficas (España), ISSN 0213-4691, ISSN-e 1989-9890, N° 51, 2010, págs. 275-276.
- Cabezas M. M., García P., (2020). Análisis de Fragmentación y Conectividad Estructural del Paisaje en la Cuenca Hidrográfica del Río Calenturitas, Departamento del Cesar-Colombia. Universidad Santo Tomas Facultad de Ciencias y Tecnologías.
- Chisacá H. M., Remolina A. F., Secretaría Distrital de Planeación SDP (2007). Informe final Contrato No. 248 de 2007 Importancia de la conectividad ecológica como herramienta de planificación de conservación en áreas rurales.
- Chuvieco, E. (1990). “Fundamentos de teledetección espacial”. Ediciones RIALP.
- Chuvieco, E., (2006). Teledetección Ambiental: la observación de la Tierra desde el Espacio. Ariel., 586 pp.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL, (1999). Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Territorial y Ambiental (CIDIAT) en Venezuela, la Comisión Nacional del Agua (CNA) en México y el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) en Perú. Documento elaborado por Dourojeanni Axel y Jouravlev Andrei. 176 p.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL UN CELADE, (2015). Proyecciones de población Population projections. Observatorio Demográfico de América Latina. LC/G. 2649-P. 138 p.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR (2014). Plan de manejo ambiental de la Reserva Forestal regional Productora del Norte Thomas van der Hammen RFRPNTVDH. Acuerdo 021 de 2014.

Correa C.A., Mendoza M.; López E., (2008). Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México.

Cuartero, A., Felicísimo, A. (2003). Rectificación y ortorectificación de imágenes de satélite: análisis comparativo y discusión. *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, 2003, p. 45-57. ISSN: 1578-5157. En línea. Consultado el 5 de agosto del 2007. Disponible en: [http://geofocus.rediris.es/docPDF/Articulo3\\_2003.pdf](http://geofocus.rediris.es/docPDF/Articulo3_2003.pdf)

Dale, V. H. (1997). La relación entre el cambio en el uso de la tierra y el cambio climático. *Aplicaciones ecológicas*. Vol 7 (3): 753-769 p.

DGAGEA Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental (1996). “Indicadores ambientales: una propuesta para España”. Madrid (España): Ministerio de Fomento, 1996. ISBN:84-498.

De Lisio, A., (2009). La metrópoli caraqueña: expansión simplificadora o articulación diversificante. *Caracas metropolitan expansion or simplistic diversifying articulation*. 1-35p.

Departamento Técnico Administrativo Del Medio Ambiente - DAMA, (1996). *Ciudad y medio ambiente*. pp. 3; 10-13.

Dourojeanni A., Jouravlev A., Chávez G., (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. 1-83.

Echeverría, C., Bolados, G., Rodriguez, J., Aguayo, M., & Premoli, A. (2014). *Ecología de Paisajes Forestales*.

ERDAS IMAGE. (2001). *IMAGINE OrthoBASE User's Guide* 104p

Etter, A. (1990). *Ecología del paisaje: un marco de integración para los levantamientos rurales*. Bogotá: IGAC, 286.

Etter, A. (1991). *Introducción a la ecología del paisaje*.

Etter A., Correa C., Mendoza M., Pérez D., (2016). *Habitat connectivity in biodiversity conservation: A review of recent studies and applications*. Universidad Nacional Autónoma de México – UNAM, Pontificia Universidad Javeriana Colombia.8-9.

Fals Borda O, (2000). *Acción y Espacio. Autonomías en la nueva República*; Tercer Mundo Editores – IEPRI; Bogotá, pp. 1-3.

FARINA, Almo (2006). *Principles and Methods in Landscape Ecology: Towards a Science of the Landscape*. 2a edición. Londres: Springer.

FISHER et al (2009). *Landscape pattern and biodiversity*. En: Levin S editor: *The Princeton guide to Ecology*. Princeton University press.

Flores L., J. C., O. Monterroso y M. Ibraghim. (2005). “factores económicos que afectan el uso de la tierra en el bosque seco tropical de Costa Rica: una revisión de la teoría y estudio de caso. <http://www.virtualmente.org/es/en/keynote18.htm>.

Forman R, Godron (1986). *Landscape ecology*. Harvard University. USA. Springer.

Forman, Richard T.T. (1995). *Land Mosaic: The ecology of landscapes and regions*. Nueva York: Cambridge University Press. 3-16 p.

Franco R. (2016). *Análisis multitemporal vectorial en ArcGIS. Mini guía de Caso*.

Friedrich Schreiber K, (1990). *The History of Landscape Ecology in Europe*. Department of Land Resource Surveys and Rural Development, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences

Gaston, K. J., Ávila-Jiménez, M. L., & Edmondson, J. L., (2013). La gestión de los bienes y servicios de los ecosistemas urbanos. *Journal of Applied Ecology*, 50(4), 830-840.

García Meléndez E. (2007). *Análisis visual de imágenes, Módulo VII: Sistemas de información geográfica y teledetección*. EOI. Universidad de León área Geodinámica externa, Departamento de Geología. pp 15.

- García Murillo, P. G., Martín Perico, J. Y., Parada Romero, L. B., & Garibello Suan, B. (2020). Diseño metodológico para la implementación de competencias STEAM en un proyecto de agricultura urbana, ajustado a condiciones de COVID-19 y con estudiantes de 5° grado en Bogotá, Colombia. En E. Serna M, *Revolución en la formación y la capacitación para el siglo XXI Vol. II* (pág. 139-146). Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- Goddard, M. A., Dougill, A. J., Benton, T. G., (2010). Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(2), 90-98.
- Gustafson E. J.; (1998). Quantifying Landscape Spatial Pattern: What Is the State of the Art?. US Forest Service. *Ecosystems* 1(2):143-156.
- Gurrutxaga, M. (2007). La conectividad de redes de conservación en la planificación territorial con base ecologica. Fundamento y aplicaciones en la comunidad Autónoma del País Vasco. Tesis doctoral. Universidad del País Vasco.
- Haines-Young., Potschin M., (2012). Landscapes, sustainability and the place-based analysis of ecosystem services. *Landscape Ecology* 28(6).
- Hermelin M. (2015). *Landscapes and Landforms of Colombia*. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. 232 p.
- Hernández A., Arellano E., Miranda M., (2012). Land-Use change dynamics in a Mediterranean landscape in central Chile: A case study Catapilco, Valparaiso Region.
- Hernández A., Miranda M., Arellano E., Saura S., Ovalle C., (2014). Landscape dynamics and their effect on the functional connectivity of a Mediterranean landscape in Chile. *Ecological Indicators* 48 (2015) 198-206.
- Hernández A., Echeverria C., (2019). Anthropization Vs. Naturalization of the landscape: case study Regions of Biobío and Aysén.
- Hernández A., Dobbs C, Reyes-Paecke S, Miranda M., (2018). Exploring temporal dynamics of urban ecosystem services in Latin America: The case of Bogota (Colombia) and Santiago (Chile). *Ecological Indicators* 85:1068-1080.
- Hernández, L. N.; Salamanca, J. A. (2019). “Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y influencia en la generación de caudales pico de la cuenca Sardinata, del departamento de norte de Santander – Colombia”. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. 25-37 p.
- Herrera, P., Díaz, E. (2013). Planificación espacial y conectividad ecológica y territorio. Una aproximación al estado de la cuestión desde una perspectiva técnica y científica. Instituto Universitario de Urbanística, 43-70.
- Herrera, P., Díaz, E. (2013). Ecología del paisaje, conectividad ecológica y territorio: Una aproximación al estado de la cuestión desde una perspectiva técnica y científica. En L. Santos y Ganges, P. Herrera, & J. Cuenca (Eds.), *Planificación espacial y conectividad ecológica: los corredores ecológicos* (Vol. 1, pp. 43–70).
- Hettner (1892). *Introduction to the Geology of the Bogota Sabana, Northern and Southern Portions*.
- Hogan D., (1998). Relación del crecimiento y distribución de la población con el desarrollo y el medio ambiente. Temas y desafíos de las políticas de población en los años noventa en América Latina y el Caribe, Cuadernos de la CEPAL N° 83, LC/G.2046—P, LC/DEM/G.181, Santiago de Chile.
- Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humbolt, IAvH (2009). *Herramientas para la conservación de la biodiversidad en paisajes rurales*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2005). *Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de cobertura y uso de la tierra*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Centro de Investigación y Desarrollo de Información Geográfica (CIAF). Bogotá, Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, (2016). *Especificaciones técnicas Cartografía Básica Digital*.
- Irastorza V. P., (2006). *Incorporación de la ecología del paisaje a la planificación territorial aplicación a la comunidad de Madrid*. Tesis Doctoral.
- Irastorza V. P., (2010). *Incorporación de la ecología del paisaje a la planificación física y ordenación del territorio*. Paper XIV International Congress on Project Engineering. Madrid.

Janssen, L.F. Ed. (2000). Principles of Remote Sensing. An introductory textbook. ITC Educational Textbooks Series, Enschede, 170 pp.

Jean-François J., Dangond Gibsone C., (2020). A propósito de los 25 años del Estatuto Orgánico de Bogotá (EOB). Tres miradas sobre el modelo de descentralización de Bogotá como un modelo híbrido. Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. DOI: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.papo25.paeo>.

Kowarik, I. (2011). Novel urban ecosystems, biodiversity, and conservation. *Environmental Pollution*, 159(8), 1974-1983.

Krausmann, F. (2001). "Land use and industrial modernization: An empirical analysis of human influence on the functioning of ecosystems in Austria 1830-1995." University of Natural Resources and Life Sciences Vienna, Austria.

Lambin. E.F.X.; Baulies. N.; Bockstael. G; Fisher. T.; Krug. R.; Leemans. E.F.; Moran, R.R.; Rindfuss, Y, sato, D.; Skole, B.L.; Turner II. Y Vogel; c. (1999). "Land use and land cover change implementation strategy; IGBP report 48; IHDP report 10; Estocolmo.

Leica Geosystems, (2004). Improving Accuracy of GIS Data. PDF. En línea. Consultado el 27 de junio del 2007. Disponible en: [http://gi.leica-geosystems.com/documents/pdf/imagineadvantage\\_WP.pdf](http://gi.leica-geosystems.com/documents/pdf/imagineadvantage_WP.pdf)

Lencinas, J. D. y A. Siebert. 2009. "Relevamiento de Bosques con Información Satelital: Resolución Espacial y Escala". Revista de Ciencias Forestales-Quebracho, 17(1,2): 101-105.

Livingston, M., & Shaw, W. W. (2003). A model for assessing wildlife habitats in urban landscapes of eastern Pima County, Arizona (USA). *Landscape and Urban Planning*, 64

Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W.; Chipman, J.W. (2004). Remote sensing and image interpretation. Wiley & Sons, 750 pp.

Londoño C., (2001). Cuencas Hidrográficas: Bases conceptuales, caracterización, planificación y administración. Universidad del Tolima – Facultad de Ingeniería Forestal.

López-Granados, E.; Bocco, G.; Mendoza, M.E.; Velázquez, A. & Aguirre, R. (2006). Peasant emigration and land-use change at the watershed level. A GIS-based approach in Central Mexico. *Agricultural Systems*, Vol. 90, p. 62-78.

López, J. M. y Hernández, E. (1972). Manejo integral de cuencas hidrográficas (aspectos hidrológicos - forestales). Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales Mérida – Venezuela. 36.

Lozano, J. (2019). El paisaje como elemento integrador de fenómenos geográficos. *Revista de Geografía Norte Grande*, Vol. 72, pp. 5–7. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022019000100005>

MacArthur, R. H., y Wilson E. O., (1963). An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution*, 17:373-387.

McGarigal, K., Marks, B.J., (1995). FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA Forest Service General Technical Report PNW-351, Corvallis.

McGarigal, K. (2015). Manual analysis metrics Landscape FRAGSTATS Department of Environmental Conservation University of Massachusetts, Amherst

McIntyre, S., & Hobbs, R. (1999). A Framework for Conceptualizing Human Effects on Landscapes and Its Relevance to Management and Research Models. *Conservation Biology*, 1283-1292.

Marull J., Mallarach J.M, (2002). La conectividad ecológica en el área Metropolitana de Barcelona. *Revista Ecosistemas* 2002/2.

Marull J; Pino J; Tello E; Mallarach J.M. (2006). Barcelona Regional; CREA, Universitat Autònoma de Barcelona; Departament d'Història i Institucions Econòmiques, Universitat de Barcelona; Departament de Geografia, Universitat de Girona. Análisis estructural y funcional de la transformación del paisaje agrario en el Vallès durante los últimos 150 años (1853-2004): relaciones con el uso sostenible del territorio

Maya, D., Ramos, P., Acevedo, G., Garrido, E., Tobón, G., & Rojas, H., (2008). Facultad de Estudios Ambientales y Rurales Pontificia Universidad Javeriana. Conflictos socioambientales y recurso hídrico: una aproximación para su identificación y análisis. Bogotá D.C.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS (2014). Decreto 1640 de 2014 “*por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones*”.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS (2014). Plan de Manejo Ambiental Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá RFPBOB. Resolución 1766 de 2016.

Miró C. A., (1998). "Políticas de población. Reflexiones sobre el pasado y perspectivas futuras", Temas y desafíos de las políticas de población en los años noventa en América Latina y el Caribe, Cuadernos de la CEPAL N° 83, LC/G.2046—P, LC/DEM/G.181, Santiago de Chile.

Monsalve, G., (1995). Hidrología en la ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. 364 p.

Morera, C., Pinto, J., & Romero, M. (2007). Paisaje, procesos de fragmentación y redes ecológicas: aproximación conceptual. Corredores biológicos: acercamiento conceptual y experiencia en América. San José, Costa Rica: Imprenta Nacional.

Moyano A., Rusinque L., Montoya G., (2020). Conectividad de las áreas protegidas a través del paisaje del departamento de Caquetá. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales Facultad de Ciencias Ambientales y de la Sostenibilidad Ingeniería Geográfica y Ambiental.

Negret, E., (1982). Un modelo de manejo integrado para cuencas hidrográficas. República de Colombia, Ministerio de Minas y Energía. En: Primer congreso nacional de cuencas hidrográficas. Medellín – Colombia.

Nogué, J., SALA, P. (2008): “El paisaje en la ordenación del territorio. Los catálogos de paisaje de Cataluña”. Cuadernos Geográficos 43: 69-98.

O'Neill R. V., Krummel J. R., Gardner R. H., Sugihara G., Jackson B., DeAngelis D. L., Milne B. T., Turner M. G., Zygmunt B., Christensen S. W., Dale V. H. y Graham R. L. (1988). “Indices of landscape pattern”. 153–162.

R. Noss, P. Beier, (1998). Do Habitat Corridors Provide Connectivity.

Saura, S., Bertzky, B., Bastin, L., Battistella, L., Mandrici, A., & Dubois, G. (2019). Global trends in protected area connectivity from 2010 to 2018. *Biological Conservation* , 238, 108183. doi: 10.1016/j.biocon.2019.07.028

Okeke, F. I. 2006. Review of Digital Image Orthorectification Techniques. Department of Geoinformatics and Surveying, University of Nigeria, Enugu Campus, Nigeria. En línea. Consultado el 27 de junio del 2007.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO, (1997). Manejo integrado de cuencas. Documento de referencia para los países de América Latina. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago – Chile.

Organización Panamericana de la Salud –OPS, (1998). Situación del abastecimiento de agua potable y del saneamiento en la región de las Américas al finalizarse el decenio 1981—1990, y perspectivas para el futuro. Volumen 1, Washington, D.C.

Ortiz A. Paola A., (2014). Los parques lineales como estrategia de recuperación ambiental y mejoramiento urbanístico de las quebradas en la ciudad de Medellín: estudio de caso parque lineal La Presidenta y parque lineal La Ana Díaz. 89 p.

S. Pauleit, R. Ennos, Yvonne Golding (2005). Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change—a study in Merseyside, UK.

Pérez, E.; Willis W., Shaner, (1996). Manejo de cuencas. Una orientación hacia los países en desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile.

Pliego M. (2004). Introducción a la Estadística Económica y Empresarial. F. J. Ed. Thomson. Madrid. pp. 513-551.

Pontificia Universidad Javeriana, (2008). Calidad del sistema hídrico de Bogotá D.C.

Poulantzas, Nicos, (1979). Estado y poder, Editorial Siglos XXI. pp. 126-135.

Priego, A.; Bocco, G.; Mendoza, M. y Garrido, A., (2010). Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisaje. México D.F.: Serie Planeación Territorial.

- Ramírez T. W. (1990). *Estado, violencia y democracia*, Universidad Nacional de Colombia- Tercer Mundo Editores, Bogotá, pp.59.
- Ramírez, D.P., Trespalacios, O.L., Ruiz, F.L., Otero, J. (2008). Biodiversidad y Conectividad ecológica en la zona urbano rural de la localidad de Suba. Instituto Alexander von Humboldt Bogotá D.C. Colombia.
- Risser P. G., Karr J. R., Forman Richard T.T., (1983). "Landscape ecology directions and approaches". Illinois Natural History Survey; Rutgers University; University of Illinois. Natural Resources Building 607 East Peabody Drive – Champaign, Illinois 61820. 5-17.
- Salido Pérez, G.A. (2013). Buenas prácticas para la definición de redes ecológicas en España. Situación actual, herramientas disponibles y propuestas de mejora. Universidad de Alicante y WWF España.
- Sancho Comins, J., Bosque Sendra, J., Moreno Sanz, F. (1993) "La dinámica del paisaje: aplicaciones de un SIG ráster al ejemplo de Arganda del Rey en las Vegas de Madrid". Madrid (España). 35-51 p.
- Santos, C., I. Escamilla y L. Guarneros (2009), "La expansión urbana en la zona norte de la periferia metropolitana de la Ciudad de México", en: A. G. Aguilar e I. Escamilla (coords.), Periferia urbana. Deterioro ambiental y reestructuración metropolitana, H. Cámara de Diputados, Instituto de Geografía-UNAM, Conacyt, Miguel Ángel Porrúa, México, pp. 53-71.
- Santos C. C., Escamilla H. I., Guarneros A. L., (2015). Expansión urbana al norte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: ¿un triángulo de deterioro ambiental sin posibilidad de desarrollo sustentable?. 1-27.
- Santos, J., & Kersten, R. (2014). Edge effect on vascular epiphytes in a subtropical Atlantic Forest. *Acta Bot. Bras.*, 28(1).
- Sastre, P., De Lucio, J.V., Martínez C., (2002). Modelos de conectividad del paisaje a distintas escalas. Ejemplos de aplicación en la Comunidad de Madrid. *Ecosistemas* 2002/2.
- Secretaría Distrital De Ambiente, (2007). Atlas Ambiental de Bogotá D.C.
- Secretaría Distrital De Ambiente, (2015). Guía técnica para el alindamiento de los Corredores Ecológicos de Ronda dentro del perímetro urbano del Distrito Capital.
- Secretaría Distrital De Ambiente, (2015). Resolución 03201 de 2015 "Por medio de la cual se adopta la Guía técnica para el alindamiento de los Corredores Ecológicos de Ronda dentro del perímetro urbano del Distrito Capital."
- Silva, S. (1999). Diagnóstico das restringas do Brasil. In. Fundación Bio Río.
- Sorensen M.; Barzetti V., Keipi K., Williams J., (1998). Manejo de las áreas verdes urbanas. Documento de buenas prácticas, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Washington, D.C.
- Taylor, P. D.; Fahrig, K.; Henein, K.; Merriam, G., (1993). "Connectivity is a vital element of landscape structure". *Oikos*, No. 68, p. 571-573.
- Taylor, P. D.; Fahrig, K.; With A. K., (2006). Landscape connectivity: A return to the basics. 5-9 p.
- Tello, E., (1999): "La formación histórica de los paisajes agrarios mediterráneos: una aproximación coevolutiva", *Historia Agraria*, 19, pp. 195-205.
- Tello, E., (2004): "La petjada ecològica del metabolisme social: una proposta metodològica per analitzar el paisatge com a humanització del territori", *Manuscrits*, 22, p. 59-78.
- Troll, C., (1939). «Luftbildplan und ökologische Bodenforschung». *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde Zu Berlin*, No. 74, p. 241-298.
- Trombulak S., Robinson A. J., Fleischner T. L. (1999)., *Principles of Conservation Biology: Guidelines for Conservation Literacy*. 1180-1183 p.
- Turner, M. G., (1989). Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics* 171– 197.
- Turner, M., Gardner, R., (1991). *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. Springer. NY. 6-15.
- Turner G., Gardner R., O'neill R, (2003). *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*.

- Turner, M. G., Gardner R. H., Oneill R. V., (2001). *Landscape ecology in theory and practice*. Springer-Verlag, New York.
- Universidad Antonio Nariño – UAN. – Secretaría Distrital de Ambiente –SDA, Alcaldía Local de Usaquén, 2011. Elementos para la recuperación de ríos urbanos Caso de estudio: Río Torca (Tramo 1), Bogotá D.C.
- Universidad Nacional De Colombia Instituto De Estudios Urbanos, Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca CAR (2011). Proyecto Borde Norte Bogotá Fase II. Producto informe final. 20-65p.
- Van Der Hammen T., Rangel O., Cortés S., (1999). Comunidades vegetales y patrones de degradación y sucesión en la vegetación de los Cerros Occidentales de Chía- Cundinamarca – Colombia. p 26.
- Vargas, E. (1992). *Análisis y clasificación del uso y cobertura de la tierra con interpretación de imágenes*. Bogotá, Colombia.
- Vásquez, J. L., & Andrade, G. I. (2016). El paisaje protegido, pieza faltante en el Sistema de Áreas Protegidas de Colombia. *Biodiversidad En La Práctica*.
- Vélez, L. A., (2011). Del parque urbano al parque sostenible. Bases conceptuales y analíticas para la evaluación para la evaluación de la sustentabilidad de parques urbanos. *Revista de Geografía Norte Grande* p 43.
- Veloza T Jenny Patricia (2017). Análisis multitemporal de las coberturas y usos del suelo de la reserva forestal protectora – productora “Casablanca” en Madrid Cundinamarca entre los años 1961 y 2015: aportes para el ordenamiento territorial”. 18-22 p.
- Vergnes A., Le Viol I., Clergeau P. (2012). “Green corridors in urban landscapes affect the arthropod communities of domestic gardens. *Biology Conservation*”. 145: 171- 178.
- Vila Subirós J., Varga Linde D., Llausàs P. A.; Ribas P. A., (2006). Universitat de Girona. Unitat de Geografia i Institut de Medi Ambient. Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (*landscape ecology*). Una interpretación desde la geografía.
- Villareal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M., Umaña, A. M., (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Bogotá: Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 236.
- Von Bertalanffy, L. (1968). *General System Theory: Foundations, Development*. New York: George Braziller.
- Wackernagel M, Kitzes J, Moran D, Goldfinger S, Thomas M., (2006). The ecological footprint of cities an regions: comparing resource availability with resource demand. *Environment and Urbanization*.
- White, P. S., and S. T. A. Pickett. (1985). Natural disturbance and patch dynamics, an introduction. Pages 3–13 in S. T. A. Pickett, and P. S. White, editors. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, New York, New York, USA
- Wiens, J.; Moss, M., (2005). *Issues and Perspectives in Landscape Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press. 3:385-397.
- WILSON, E. O. (1992). *The diversity of life*. Cambridge: Harvard University Press.
- Wu, J.; Hobbs, R., (2002). *Landscape Ecology. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis*. 17-355.
- Wu, J. (2018). Landscape ecology. En *Encyclopedia of Ecology* (pp. 527–531). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10919-4>.

## ANEXOS

## ANEXO 1

**Anexo 1.** Análisis multitemporal de transformación del territorio: Coberturas de la tierra nivel 4 CLC determinadas para los tiempos analizadas.

PERIODO TIEMPO		AÑO 1956		AÑO 1977		AÑO 1998		AÑO 2021	
COBERTURAS Nivel 4 CLC		1956 AREA (ha)	1956 (%)	1977 AREA (ha)	1977 (%)	1998 AREA (ha)	1998 (%)	2019_2021 AREA (ha)	2021 (%)
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	<b>AHC_VegAcuat</b>	881,94	8,95	339,20	3,44	151,23	1,53	150,77	1,53
Arbustal denso	<b>ARB_D</b>	8,01	0,08	0,00	0,00	12,59	0,13	12,59	0,13
Bosque ripario	<b>B_Rp</b>	22,36	0,23	21,79	0,22	4,95	0,05	21,43	0,22
Bosque abierto alto tierra firme	<b>BA_ATF</b>	84,95	0,86	33,83	0,34	8,34	0,08	8,34	0,08
Bosque abierto bajo inundable	<b>BA_B_In</b>	25,37	0,26	24,84	0,25	5,90	0,06	5,90	0,06
Bosque abierto bajo tierra firme	<b>BA_BTf</b>	1,61	0,02	1,61	0,02	83,54	0,85	112,32	1,14
Bosque denso alto inundable	<b>BD_A_In</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,14	0,01	1,14	0,01
Bosque denso alto tierra firme	<b>BD_ATF</b>	1555,61	15,78	1387,55	14,08	1639,40	16,63	1642,13	16,66
Bosque denso bajo inundable	<b>BD_B_In</b>	0,00	0,00	1,51	0,02	12,15	0,12	12,15	0,12
Bosque denso bajo tierra firme	<b>BD_BTf</b>	241,08	2,45	240,95	2,44	255,42	2,59	255,34	2,59
Cuerpo de agua Canal	<b>CA_CAN</b>	4,43	0,04	9,76	0,10	57,08	0,58	57,08	0,58
Cuarpo agua reservorios	<b>CA_EST</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	0,01	12,69	0,13
Cuerpo de agua lago	<b>CA_LAG</b>	0,58	0,01	7,42	0,08	31,16	0,32	31,42	0,32
Cuarpo de agua río	<b>CA_RIO</b>	67,34	0,68	70,66	0,72	72,59	0,74	70,92	0,72
Cultivos confinados bajo invernaderos	<b>Cu_C_Inv</b>	0,00	0,00	105,40	1,07	479,19	4,86	334,54	3,39
Cultivos Pastos Herbazales	<b>Cu_P_H</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,45	0,01	1,45	0,01
Cultivos transitorios	<b>Cu_T</b>	667,36	6,77	221,77	2,25	650,28	6,60	1258,90	12,77
Herbaza abierta arenosa	<b>HA_Are</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	0,01	0,49	0,01
Herbaza abierta rocosa	<b>HA_R</b>	74,69	0,76	94,24	0,96	37,96	0,39	37,96	0,39
Herbaza denso inundable arbolado	<b>HD_In_A</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	46,44	0,47	78,58	0,80
Herbaza denso inundable no arbolado	<b>HD_In_NA</b>	84,09	0,85	83,04	0,84	10,47	0,11	10,47	0,11
Herbaza denso tierra firme arbolado	<b>HD_TFA</b>	224,36	2,28	245,23	2,49	1,67	0,02	1,59	0,02
Mosaico Cultivos y espacios naturales	<b>MS_C_Enat</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	24,33	0,25	24,23	0,25
Mosaico Pastos y Cultivos	<b>MS_P_Cu</b>	2372,05	24,07	2785,56	28,26	1789,12	18,15	793,55	8,05
Mosaico pastos cultivos espacios naturales	<b>MS_P_Cu_Enat</b>	40,10	0,41	59,77	0,61	108,65	1,10	328,47	3,33
Mosaico pastos y espacios naturales	<b>MS_P_Enat</b>	0,00	0,00	70,45	0,71	52,19	0,53	49,98	0,51
Obras hidráulicas	<b>OH</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,08	0,02	2,08	0,02
Pastos arblados	<b>PA</b>	1163,82	11,81	719,51	7,30	323,12	3,28	326,49	3,31
Pastos enmalezados	<b>PE</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	16,78	0,17	32,28	0,33
Pastos limpios	<b>PL</b>	1851,94	18,79	1843,63	18,70	690,98	7,01	546,40	5,54
Red vial, ferrea, Comunicaciones	<b>RV_VIA_FR</b>	105,15	1,07	105,15	1,07	151,15	1,53	165,60	1,68
Tieras desnudas degradadas	<b>TDD</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	15,56	0,16	15,58	0,16
Zona industrial y commercial	<b>ZIC</b>	0,00	0,00	36,14	0,37	117,19	1,19	136,93	1,39
Zona commercial aeropuertos	<b>ZIC_AEROP</b>	109,28	1,11	98,94	1,00	99,50	1,01	99,50	1,01
Zona minera canteras	<b>ZME_Min</b>	121,29	1,23	153,81	1,56	45,75	0,46	45,75	0,46
Tejido urbano continuo	<b>ZU_TUC</b>	0,00	0,00	292,61	2,97	1606,20	16,30	1711,95	17,37
Tejido urbano discontinuo	<b>ZU_TUD</b>	146,71	1,49	291,56	2,96	416,06	4,22	613,91	6,23
Zonas verdes artificiales urbanas	<b>ZV_Art_U</b>	0,00	0,00	147,50	1,50	159,39	1,62	170,71	1,73

**Anexo 1.** Análisis multitemporal de transformación del territorio: Coberturas de la tierra nivel 4 CLC determinadas para los tiempos analizadas.

PERIODO TIEMPO		AÑO 1956		AÑO 1977		AÑO 1998		AÑO 2021	
COBERTURAS Nivel 4 CLC		1956 AREA (ha)	1956 (%)	1977 AREA (ha)	1977 (%)	1998 AREA (ha)	1998 (%)	2019_2021 AREA (ha)	2021 (%)
Zonas verdes recreativas	ZV_Rec	0,00	0,00	0,00	0,00	53,34	0,54	50,34	0,51
Zona verde recreativa institucional	ZV_Rec_Inst	2,67	0,03	363,36	3,69	620,55	6,30	624,85	6,34
<b>TOTAL CUENCA</b>		<b>9856,81</b>	<b>100,00</b>	<b>9856,81</b>	<b>100,00</b>	<b>9856,81</b>	<b>100,00</b>	<b>9856,81</b>	<b>100,00</b>

## ANEXO 2

**Anexo 2.** Análisis multitemporal: Ganancias y pérdidas totales coberturas límites temporales analizados (1956-2021).

COBERTURAS NIVEL 2 CLC	AÑO 1956 (área ha.)	AÑO 1956 (área %)	AÑO 2021	AÑO 2021 (área %)	GANANCIAS/PERDIDAS variación (%) 1956-(2019/2021)
AGUAS CONTINENTALES	72,35	0,73	172,11	1,75	1,01
AREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACION	0,00	0,00	15,58	0,16	0,16
AREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS	1810,85	18,37	1196,23	12,14	-6,24
AREAS CON VEGETACION HERBACEA Y_O ARBUSTIVA	391,16	3,97	141,69	1,44	-2,53
AREAS HUMEDAS CONTINENTALES	881,94	8,95	150,77	1,53	-7,42
BOSQUES	1930,99	19,59	2058,75	20,89	1,30
CULTIVOS PERMANENTES	0,00	0,00	335,98	3,41	3,41
CULTIVOS TRANSITORIOS	1147,51	11,64	1258,90	12,77	1,13
PASTOS	3136,91	31,82	905,17	9,18	-22,64
ZONAS DE EXTRACCION MINERA Y ESCOMBRERAS	121,29	1,23	45,75	0,46	-0,77
ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACIÓN	214,42	2,18	404,12	4,10	1,92
ZONAS URBANIZADAS	146,71	1,49	2325,86	23,60	22,11
ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS NO AGRICOLAS	2,67	0,03	845,90	8,58	8,55
<b>TOTAL CUENCA</b>	<b>9856,81</b>	<b>100</b>	<b>9856,81</b>	<b>100</b>	

## ANEXO 3

## Anexo 3. Matrices de correlación ACP, Pearson análisis multitemporal coberturas nivel 2 CLC.

Matriz de proximidades													
Correlación entre vectores de valores													
	AGUAS CONTINENTALES	AREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACION	AREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS	AREAS CON VEGETACION HERBACEA Y_O ARBUSTIVA	AREAS HUMEDAS CONTINENTALES	BOSQUES	CULTIVOS PERMANENTES	CULTIVOS TRANSITORIOS	PASTOS	ZONAS DE EXTRACCION MINERA Y ESCOMBRERAS	ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACION	ZONAS URBANIZADAS	ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS NO AGRICOLAS
AGUAS CONTINENTALES	1,000	,989	-.758	-.966	-.840	,731	,935	,579	-.996	-.929	,997	,999	,909
AREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACION	,989	1,000	-.839	-.994	-.768	,803	,942	,683	-.976	-.970	,982	,986	,851
AREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS	-.758	-.839	1,000	,880	,297	-.984	-.695	-.970	,703	,946	-.757	-.738	-.429
AREAS CON VEGETACION HERBACEA Y_O ARBUSTIVA	-.966	-.994	,880	1,000	,712	-.833	-.942	-.741	,950	,983	-.955	-.963	-.803
AREAS HUMEDAS CONTINENTALES	-.840	-.768	,297	,712	1,000	-.243	-.850	-.058	,884	,589	-.826	-.860	-.990
BOSQUES	,731	,803	-.984	-.833	-.243	1,000	,607	,964	-.667	-.920	,743	,704	,380
CULTIVOS PERMANENTES	,935	,942	-.695	-.942	-.850	,607	1,000	,517	-.949	-.866	,907	,948	,902
CULTIVOS TRANSITORIOS	,579	,683	-.970	-.741	-.058	,964	,517	1,000	-.511	-.839	,580	,553	,199
PASTOS	-.996	-.976	,703	,950	,884	-.667	-.949	-.511	1,000	,896	-.990	-.999	-.942
ZONAS DE EXTRACCION MINERA Y ESCOMBRERAS	-.929	-.970	,946	,983	,589	-.920	-.866	-.839	,896	1,000	-.926	-.918	-.699
ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACION	,997	,982	-.757	-.955	-.826	,743	,907	,580	-.990	-.926	1,000	,993	,897
ZONAS URBANIZADAS	,999	,986	-.738	-.963	-.860	,704	,948	,553	-.999	-.918	,993	1,000	,924
ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS NO AGRICOLAS	,909	,851	-.429	-.803	-.990	,380	,902	,199	-.942	-.699	,897	,924	1,000

Esto es una matriz de similitud.

Matriz de correlaciones <sup>a</sup>													
	AGUAS CONTINENTALES	AREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACION	AREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS	AREAS CON VEGETACION HERBACEA Y_O ARBUSTIVA	AREAS HUMEDAS CONTINENTALES	BOSQUES	CULTIVOS PERMANENTES	CULTIVOS TRANSITORIOS	PASTOS	ZONAS DE EXTRACCION MINERA Y ESCOMBRERAS	ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACION	ZONAS URBANIZADAS	ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS NO AGRICOLAS
Correlación	AGUAS CONTINENTALES	,989	-.758	-.966	-.840	,731	,935	,579	-.996	-.929	,997	,999	,909
	AREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACION	1,000	-.839	-.994	-.768	,803	,942	,683	-.976	-.970	,982	,986	,851
	AREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS	-.758	1,000	,880	,297	-.984	-.695	-.970	,703	,946	-.757	-.738	-.429
	AREAS CON VEGETACION HERBACEA Y_O ARBUSTIVA	-.966	-.994	,880	1,000	,712	-.833	-.741	,950	,983	-.955	-.963	-.803
	AREAS HUMEDAS CONTINENTALES	-.840	-.768	,297	,712	1,000	-.243	-.850	-.058	,884	-.826	-.860	-.990
	BOSQUES	,731	,803	-.984	-.833	-.243	1,000	,607	-.667	-.920	,743	,704	,380
	CULTIVOS PERMANENTES	,935	,942	-.695	-.942	-.850	,607	1,000	-.949	-.866	,907	,948	,902
	CULTIVOS TRANSITORIOS	,579	,683	-.970	-.741	-.058	,964	,517	1,000	-.511	-.839	,580	,553
	PASTOS	-.996	-.976	,703	,950	,884	-.667	-.949	-.511	1,000	-.990	-.999	-.942
	ZONAS DE EXTRACCION MINERA Y ESCOMBRERAS	-.929	-.970	,946	,983	,589	-.920	-.866	-.839	,896	1,000	-.926	-.918
	ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACION	,997	,982	-.757	-.955	-.826	,743	,907	,580	-.990	-.926	1,000	,993
	ZONAS URBANIZADAS	,999	,986	-.738	-.963	-.860	,704	,948	,553	-.999	-.918	,993	1,000
	ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS NO AGRICOLAS	,909	,851	-.429	-.803	-.990	,380	,902	,199	-.942	-.699	,897	,924

<sup>a</sup> Determinante = .000

## ANEXO 4

## Anexo 4. Matriz de comunalidades

Comunalidades		
	Inicial	Extracción
AGUAS CONTINENTALES	1,000	,994
AREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACION	1,000	1,000
AREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS	1,000	,999
AREAS CON VEGETACION HERBACEA Y/O ARBUSTIVA	1,000	,993
AREAS HUMEDAS CONTINENTALES	1,000	1,000
BOSQUES	1,000	,984
CULTIVOS PERMANENTES	1,000	,926
CULTIVOS TRANSITORIOS	1,000	,996
PASTOS	1,000	,998
ZONAS DE EXTRACCION MINERA Y ESCOMBREBRAS	1,000	1,000
ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACION	1,000	,978
ZONAS URBANIZADAS	1,000	,998
ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS NO AGRICOLAS	1,000	1,000

Método de extracción: análisis de componentes principales.

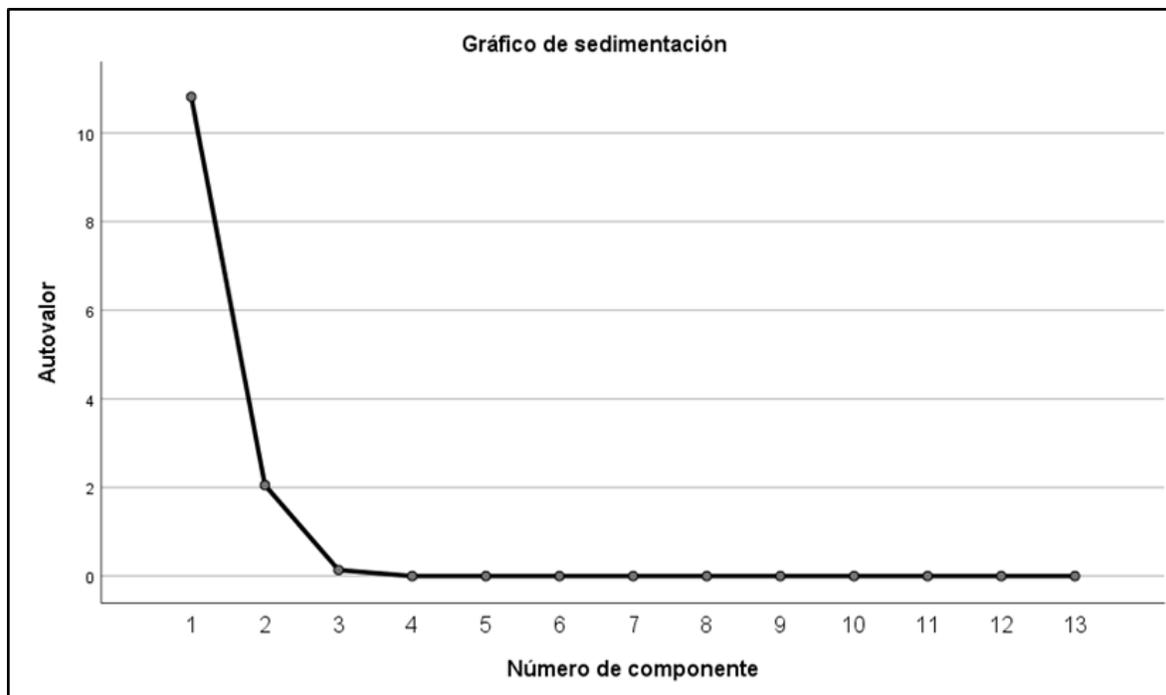
## Matriz de varianza explicada

Componente	Varianza total explicada					
	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	10,813	83,179	83,179	10,813	83,179	83,179
2	2,051	15,776	98,956	2,051	15,776	98,956
3	,136	1,044	100,000			
4	8,470E-16	6,516E-15	100,000			
5	3,883E-16	2,987E-15	100,000			
6	2,416E-16	1,859E-15	100,000			
7	7,662E-17	5,894E-16	100,000			
8	1,499E-17	1,153E-16	100,000			
9	-1,235E-16	-9,500E-16	100,000			
10	-1,599E-16	-1,230E-15	100,000			
11	-3,524E-16	-2,711E-15	100,000			
12	-6,194E-16	-4,765E-15	100,000			
13	-2,219E-15	-1,707E-14	100,000			

Método de extracción: análisis de componentes principales.

## ANEXO 5

## Anexo 5. Gráfico de sedimentación para determinación de componentes.



## ANEXO 6

**Anexo 6.** Línea de tiempo de hitos históricos relacionados con la transformación del territorio y la conservación de ecosistemas y suelos de protección en la cuenca hidrográfica Torca.

Año	Hito territorial	Dinámica territorial generada
1100 a de C.	Asentamientos humanos Francois Correa (2005). Muiscas y los humedales ocupaban grandes extensiones en la sabana. Estas comunidades se valían de la biodiversidad allí existente para su abastecimiento, utilizando el agua de los humedales para la pesca y el riego de sus cultivos ya que la agricultura era la base esencial de su economía. Adecuaciones hidráulicas control de inundaciones para cultivo, Camellones.	Conservación y uso productivo
1600 – 1700 Periodo conquista	trabajo arqueológico de Ana María Boada (2006), localizó para la zona de Suba y Cota, un área total de 7451 hectáreas de camellones, ubicados entre la orilla oriental del río Bogotá y la Autopista Norte y desde el humedal de Jaboque hasta el aeropuerto de Guaymaral, encontrando camellones de damero; encontrando camellones de damero; irregulares y paralelos al malecón del río humedal de Jaboque hasta el aeropuerto de Guaymaral, encontrando camellones de damero; irregulares y paralelos al malecón del río.	Conservación y uso productivo
Siglos XVI - XVII	Finalizando el siglo XVI, hacia 1590, las mejores tierras de la Sabana estaban asignadas a los encomenderos, sin embargo, la concesión de mercedes alcanzó a extenderse hasta la tercera mitad del siglo XVII. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estancias de ganado mayor (vacuno)</li> <li>• Estancias de pan sembrar (agricultura)</li> <li>• Estancias de ganado menor (ovinos)</li> <li>• Estancias de pan coger (huertos)</li> </ul>	Productivo
Siglo XVII	<i>"...los jesuitas... al ser expulsados del virreinato en 1767 eran dueños, prácticamente, de tres cuartas partes de todas las tierras de Cota y de Suba, rodeados por las de los actuales municipios de Chía, al norte; Tenjo y Funza, al oeste; Usaquén, sobre la región oriental, y Engativá y la región suroeste de Suba, al sur"</i> (Pardo, 1988, p. 66)	Productivo
Siglos XII a XX	<i>"A finales del siglo XVII, la preeminencia del poder social y político sobre los factores económicos, definen el marco en el cual se crea una nueva forma de asociación del trabajo, poder y prestigio, la hacienda, que se va a mantener hasta entrado el siglo XX (Guillén, 2003)."</i>	Productivo
Siglo XIII-XIX, año 1805	La zona no era apta agrícola, debido a la cantidad de lagunas y zonas pantanosas lo cual fue solucionado en parte con la siembra de eucaliptos y canalizaciones en el terreno.	Productivo
1956	Proyecto de consolidación del eje vial Autopista Norte	Desarrollo vial y expansión urbana
1971	Convención RAMSAR, 1971 Comunidad Internacional. Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas	Conservación
1974	Establecimiento oficial del Aeropuerto Guaymaral	Desarrollo de servicios de transporte y comunicación
1977	Resolución 076 de 1977 del Ministerio de Agricultura. Declaratoria de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá	Conservación
1990	Acuerdo 6 EAAB para delimitación y acotamiento de humedales dentro del D.C.	Conservación
1993	Acuerdo 02 de 1993, del Concejo de Bogotá. Prohibición de rellenos en humedales.	Conservación
1994	Acuerdo 19 de 1994, del Concejo de Bogotá. Por el cual se declaran como reservas ambientales naturales los Humedales del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones que garanticen su cumplimiento.	Conservación
2000-2004	Decreto 619 (Decreto 190 de 2004) POT Bogotá D.C. declara los PEDH (Parques ecológicos distritales de humedales La Conejera, Torca-Guaymaral) y PEDM (Cerro La Conejera, Cerro de Torca, SDDF Bosque Las Mercedes) como áreas protegidas distritales. Incluye Corredores Ecológicos de Ronda CER de quebradas, ríos y canales.	Conservación
2003	Acuerdo 79 de 2003 Código de policía de Bogotá D.C.. Chucuas y humedales. Las chucuas y humedales y sus zonas de RH y ZMPA son parte del sistema de drenaje natural del Distrito y del espacio público.	Conservación
2007	Decreto 624 de 2007 Alcalde Mayor. Por el cual se adopta la visión, objetivos y principios de la Política de Humedales del Distrito Capital.	Conservación
2011	Acuerdo 11 de 2011 Declaratoria de la Reserva Forestal Productora del Norte Thomas Van der Hammen RFPNTVDH	Conservación y uso sostenible
2012	Resolución número 1021 de 2012 Plan Especial de Manejo y Protección (PEMP) del inmueble denominado Casa de Hacienda La Conejera (declarada bien de interés cultural del ámbito nacional)	Conservación y uso sostenible
2014	Acuerdo CAR 021 de 2014 PMA de la Reserva Forestal Productora del Norte Thomas Van der Hammen RFPNTVDH	Conservación y uso sostenible
2015	Decreto 485 de 2015 Plan de Manejo Ambiental del Área de Ocupación Pública Prioritaria AOPP de la franja de adecuación de cerros orientales.	Conservación y uso sostenible
2015	Resolución Conjunta CAR-SDA 002 del 13 de febrero de 2015 Plan de Manejo Ambiental PEDH Torca Guaymaral	Conservación
2015	Resolución SDA 0069 del 26 de enero de 2015 Plan de Manejo Ambiental PEDH La Conejera	Conservación
2016	Resolución 1766 de 2016 Plan de Manejo Ambiental de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá.	Conservación
2017	Decreto 088 de 2017 Reglamenta el Plan zonal "Lagos del Torca"	Expansión urbana
2021	Proceso de ajuste estructural al Plan de Ordenamiento Territorial POT del Distrito Capital.	Conservación/ Expansión urbana

## ANEXO 7

Anexo 7. Resultados métricas para el nivel de clase para los tiempos analizados.

COBERTURA	1956 Total Area (CA/TA)	1956 Percentage of Landscape PLAND	1956 Number Patch NP	1956 Largest Patch Ondex LPI	1956 Perimeter Area Fractal Dimension PAFRAC	1956 Proximity Index PROX_MN	1956 Euclidean Nearest Neighbor Distance ENN_MN	1956 Total Edge contrasty Index TECI	1956 Connectance Index CONNECT
AREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS	722.225	0.7327	260.000	0.3183	16.116	3.240.532	420.504	701.352	338.462
CULTIVOS PERMANENTES	8.820.225	89.484	230.000	27.776	12.928	22.954.981	1.179.258	785.882	134.387
BOSQUES	18.108.300	183.715	180.000	60.329	10.132	25.059.978	3.997.079	852.307	444.444
ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACIÓN	3.912.400	39.693	130.000	25.993	15.667	3.798.929	6.391.005	856.855	76.923
ZONAS URBANIZADAS	31.368.350	318.242	570.000	170.605	12.146	87.530.470	563.827	961.528	145.990
PASTOS	19.154.800	194.332	430.000	98.197	11.287	41.358.655	2.092.219	946.238	145.072
AREAS HUMEDAS CONTINENTALES	2.142.600	21.737	80.000	0.8414	N/A	3.319.900	2.789.700	776.933	392.857
ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS NO AGRICOLAS	26.800	0.0272	40.000	0.0137	N/A	0.4522	28.094.785	697.018	166.667
AREAS CON VEGETACION HERBACEA Y_O ARBUSTIVA	11.477.050	116.438	100.000	42.476	11.018	34.979.565	4.084.633	816.497	200.000
AREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACION	1.466.650	14.880	480.000	0.8740	10.965	93.679	2.808.117	852.785	79.787
AGUAS CONTINENTALES	156.375	0.1586	10.000	0.1586	N/A	0.0000	N/A	974.550	0.0000
ZONAS DE EXTRACCION MINERA Y ESCOMBRERAS	1.211.775	12.294	10.000	12.294	N/A	0.0000	N/A	912.533	0.0000
COBERTURA	1977 Total Area (CA/TA)	1977 Percentage of Landscape PLAND	1977 Number Patch NP	1977 Largest Patch Ondex LPI	1977 Perimeter Area Fractal Dimension PAFRAC	1977 Proximity Index PROX_MN	1977 Euclidean Nearest Neighbor Distance ENN_MN	1977 Total Edge contrasty Index TECI	1977 Connectance Index CONNECT
AREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS	876.250	0.8890	440.000	0.3362	15.974	2.152.197	333.367	930.104	162.791
CULTIVOS PERMANENTES	3.393.825	34.431	240.000	0.6473	16.679	1.401.011	2.977.087	550.097	68.841
BOSQUES	29.155.800	295.795	200.000	117.822	10.757	140.998.150	2.391.564	727.274	242.105
ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACIÓN	25.632.450	260.050	580.000	40.638	12.245	73.008.501	496.540	717.889	127.042
ZONAS URBANIZADAS	4.226.025	42.874	180.000	26.135	13.958	11.316.425	2.331.905	715.720	104.575
PASTOS	17.121.250	173.701	450.000	71.006	12.204	20.167.616	2.366.248	644.358	138.384
AREAS HUMEDAS CONTINENTALES	2.401.025	24.359	120.000	12.458	14.408	369.870	4.958.133	945.723	166.667
ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS NO AGRICOLAS	5.110.100	51.844	250.000	12.476	10.816	4.022.550	3.781.005	905.347	86.667
AREAS CON VEGETACION HERBACEA Y_O ARBUSTIVA	5.841.750	59.266	1.030.000	21.517	11.450	1.213.928	1.520.909	926.280	70.246
AREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACION	2.217.650	22.499	50.000	10.040	N/A	15.627	15.558.962	952.214	100.000
AGUAS CONTINENTALES	1.537.400	15.597	60.000	0.5879	N/A	320.288	7.489.751	695.642	200.000
ZONAS DE EXTRACCION MINERA Y ESCOMBRERAS	1.054.025	10.693	50.000	0.3472	N/A	14.054	14.721.211	588.677	100.000
COBERTURA	1998 Total Area (CA/TA)	1998 Percentage of Landscape PLAND	1998 Number Patch NP	1998 Largest Patch Ondex LPI	1998 Perimeter Area Fractal Dimension PAFRAC	1998 Proximity Index PROX_MN	1998 Euclidean Nearest Neighbor Distance ENN_MN	1998 Total Edge contrasty Index TECI	1998 Connectance Index CONNECT
AGUAS CONTINENTALES	1.621.100	16.447	4.970.000	0.3542	15.492	458.398	208.451	872.881	72.272

**Anexo 7. Resultados métricas para el nivel de clase para los tiempos analizados.**

AREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS	11.107.075	112.685	250.000	39.863	11.862	123.253.634	2.161.795	765.275	153.333
PASTOS	8.332.550	84.536	730.000	28.502	11.506	3.989.743	1.189.848	644.739	67.352
AREAS CON VEGETACION HERBACEA Y_O ARBUSTIVA	1.096.175	11.121	200.000	0.1849	11.746	716.251	5.989.305	786.601	52.632
CULTIVOS PERMANENTES	4.805.350	48.752	160.000	26.357	11.573	32.923.729	5.751.990	496.585	75.000
AREAS HUMEDAS CONTINENTALES	10.310.400	104.602	600.000	18.672	11.107	15.026.748	1.558.038	601.946	54.802
ZONAS URBANIZADAS	21.970.950	222.902	1.000.000	30.618	11.371	11.138.718	928.343	955.178	99.596
BOSQUES	20.109.925	204.022	190.000	116.617	12.059	95.236.798	1.751.875	825.106	81.871
ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACION	1.512.625	15.346	130.000	0.6480	13.289	288.322	6.193.241	961.752	76.923
ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS NO AGRICOLAS	3.697.425	37.512	120.000	19.437	22.426	2.220.664	5.520.907	667.435	121.212
CULTIVOS TRANSITORIOS	13.390.750	135.854	430.000	118.476	11.973	611.586.405	1.501.229	781.925	283.499
AREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACION	155.875	0.1581	10.000	0.1581	N/A	0.0000	N/A	768.571	0.0000
ZONAS DE EXTRACCION MINERA Y ESCOMBRERAS	457.350	0.4640	30.000	0.3070	N/A	0.2842	7.969.819	851.498	333.333
<b>COBERTURA</b>	<b>2019/2021 Total Area (CA/TA)</b>	<b>2019/2021 Percentage of Landscape PLAND</b>	<b>2019/2021 Number Patch NP</b>	<b>2019/2021 Largest Patch Ondex LPI</b>	<b>2019/2021 Perimeter Area Fractal Dimension PAFRAC</b>	<b>2019/2021 Proximity Index PROX_MN</b>	<b>2019/2021 Euclidean Nearest Neighbor Distance ENN_MN</b>	<b>2019/2021 Total Edge contrasty Index TECI</b>	<b>2019/2021 Connectance Index CONNECT</b>
AGUAS CONTINENTALES	1.720.500	17.455	5.130.000	0.3372	15.156	461.137	238.131	885.081	69.444
AREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS	11.960.875	121.347	250.000	48.206	12.043	87.751.284	1.858.032	807.277	156.667
ZONAS VERDES ARTIFICIALIZADAS NO AGRICOLAS	8.458.950	85.819	760.000	28.502	11.703	3.880.094	1.253.916	644.663	63.860
AREAS CON VEGETACION HERBACEA Y_O ARBUSTIVA	1.416.550	14.371	190.000	0.2866	11.870	674.442	5.267.062	832.485	40.936
PASTOS	9.052.275	91.838	660.000	14.270	11.120	10.774.227	1.258.488	774.468	57.343
ZONAS URBANIZADAS	23.257.425	235.954	1.020.000	31.844	11.332	10.485.658	906.577	810.665	96.874
BOSQUES	20.589.325	208.885	260.000	174.063	12.502	224.496.312	1.527.191	917.423	113.846
AREAS HUMEDAS CONTINENTALES	1.508.100	15.300	130.000	0.6480	13.320	287.909	6.190.031	534.381	76.923
ZONAS INDUSTRIALES O COMERCIALES Y REDES DE COMUNICACION	4.040.325	40.990	160.000	20.169	21.817	2.237.312	2.994.413	723.061	116.667
CULTIVOS TRANSITORIOS	12.590.175	127.731	420.000	117.899	12.024	594.075.554	1.326.433	850.208	299.652
CULTIVOS PERMANENTES	3.359.450	34.083	180.000	21.758	11.833	24.487.906	5.291.916	551.377	65.359
AREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACION	156.250	0.1585	10.000	0.1585	N/A	0.0000	N/A	874.762	0.0000
ZONAS DE EXTRACCION MINERA Y ESCOMBRERAS	457.350	0.4640	30.000	0.3070	N/A	0.2842	7.969.819	846.922	333.333