



**Análisis de la expansión urbana y sus efectos en la pérdida de cobertura vegetal en la
localidad de Suba, Bogotá D.C.**

Andrea del Pilar Martínez Aldana
Ingrit Tatiana Rincón Forero
Karen Jimena Solano Fernández
Mónica Lizeth Valderrama Gil
Nelson Herley Benítez Sosa

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Asesora: Ana María Giraldo

Universidad de Manizales
Facultad Ciencias e Ingeniería
Especialización en Sistemas de Información Geográfica
Manizales, Caldas, Colombia

2025

Cita (Benítez Sosa, 2025)

Referencia Benítez Sosa, N. Martínez Aldana, A. Rincón Forero, I. Solano Fernández, K. Valderrama Gil, M. (2025). *Análisis de la expansión urbana y sus efectos en la pérdida de cobertura vegetal en la localidad de Suba, Bogotá D.C* [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Manizales. RIDUM: Repositorio Institucional Universidad de Manizales.

Estilo APA 7 (2020)



Declaración de inteligencia artificial: los autores de este trabajo de grado declaran que han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA), tales como ChatGPT, Turnitin, Copilot y Gemini, de manera ética y responsable, tal como se establece en el Acuerdo UManizales 002 (julio 26 de 2023) sobre propiedad intelectual e IA. Estas herramientas son empleadas como apoyo en la redacción, revisión gramatical y generación de ideas, pero no sustituyen el análisis crítico, la argumentación académica ni la originalidad del trabajo. Asimismo, cualquier contenido generado con asistencia de IA está citado y referenciado adecuadamente, garantizando la integridad académica y el cumplimiento de los principios éticos de la investigación.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Manizales ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A nuestras familias, por su amor incondicional, apoyo constante y comprensión en cada paso de este camino. A quienes nos inspiran a cuidar la tierra que habitamos, para que las futuras generaciones puedan disfrutar de un entorno más verde y sostenible.

Agradecimientos

Agradecemos profundamente a nuestros docentes y asesores por su orientación y valiosos aportes durante el desarrollo de este trabajo. A la comunidad de Suba, líderes sociales y participantes de la encuesta, por su tiempo y compromiso en aportar su percepción para esta investigación. A nuestras familias y amigos, por su apoyo inquebrantable y por alentarnos a culminar este proceso con dedicación y responsabilidad.

Tabla de contenido

Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
1. Planteamiento del problema.....	14
1.1 Antecedentes	18
2. Justificación	27
3. Objetivos.....	29
3.1 Objetivo General	29
3.2 Objetivos Específicos	29
4. Marco Teórico.....	30
4.1 Urbanización	30
4.2 Cobertura Vegetal	30
4.3 Clasificación de Imágenes Digitales	31
4.3.1 Clasificación Supervisada.....	31
4.4 Corine Land Cover	31
4.5 Evaluación de la Exactitud Temática	32
4.5.1 Precisión.....	32
4.5.2 Exactitud del Productor.....	32
4.5.3 Exactitud del Usuario.....	32
4.5.4 Nivel de Confianza	32
4.5.5 Matriz de Confusión	33
4.6 Dendrograma.....	34
4.7 Plan de ordenamiento territorial.....	34

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

4.8 Deforestación	35
4.9 Eco barrios.....	35
5. Metodología.....	35
5.1. Enfoque Metodológico.....	35
5.2 Tipo de Estudio	36
5.2.1 Estudio de Caso.....	36
5.2.2 Estudio Descriptivo-Comparativo	36
5.3 Procedimiento.....	36
5.3.1 Fase I: Comparación de políticas y normativas de los POTs de Bogotá frente a la gestión de la cobertura vegetal.....	37
5.3.2. Fase II: Análisis de Ortofotografías	37
5.3.3 Fase III encuestas:.....	45
5.3.4 Fase IV: Propuesta de Estrategias de Conservación y Mitigación	47
6. Resultados.....	48
6.1. Fase I: Comparación de políticas y normativas de los POTs de Bogotá frente a la gestión de la cobertura vegetal.....	48
6.1.1 Análisis Cartográfico de los POTs.....	54
6.1.2 Perfil Demográfico.....	101
6.2 Percepción Sobre el Cambio en las Zonas Verdes	102
6.3 Causas Percibidas de la Disminución.....	103
6.4 Evaluación del Cuidado por Parte de las Autoridades	104
6.5 Impacto por Pérdida de Zonas Verdes en la Localidad de Suba	105
6.6 Problemas Asociados a la Pérdida de Vegetación	106
6.7 Participación Comunitaria.....	107
6.8 Fase IV: Propuesta de Estrategias de Conservación y Mitigación.....	108
7. Conclusiones.....	116

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

8. Recomendaciones	118
9. Referencias.....	119
10. Anexos.....	129

Lista de tablas

Tabla 1	Valoración del coeficiente de Kappa	34
Tabla 2	Características de las imágenes utilizadas para el estudio	39
Tabla 3	Clases de coberturas utilizadas para el análisis.....	41
Tabla 4	Clases de coberturas supervisadas.....	43
Tabla 5	Comparación ambiental entre POT 190 de 2004 y el POT 555 de 2021	48
Tabla 6	Comparación de metas ambientales en los POTs.....	49
Tabla 7	Comparación de herramientas de implementación en los POTs.....	50
Tabla 8	Comparación ambiental de los POTs en la localidad de Suba.....	52
Tabla 9	Análisis de la Cartografía enfocado en la localidad de Suba	55
Tabla 10	Comparativo de áreas entre POT 190 y POT 555	60
Tabla 11	Principales decisiones sobre la Reserva Thomas van der Hammen (2000-2023).....	61
Tabla 12	Coberturas del suelo en Suba por superficie y porcentaje (2004-20024)	70
Tabla 13	Matriz de cambio de coberturas 2004-2009 en la localidad de Suba.....	80
Tabla 14	Matriz de cambio de coberturas 2004-2024 en la localidad de Suba.....	81
Tabla 15	Matriz de cambio de coberturas 2009-2024 en la localidad de Suba.....	81
Tabla 16	Matriz de confusión para la clasificación supervisada realizada a la ortofotografía del 2004.....	90
Tabla 17	Matriz de confusión para la clasificación supervisada realizada a la ortofotografía del 2009	92
Tabla 18	Matriz de confusión para la clasificación supervisada realizada a la ortofotografía del 2024.....	94

Lista de figuras

Figura 1	Procedimiento de análisis de pérdida de cobertura vegetal en Suba	38
Figura 2	Capa normativa del POT 190 de 2004.....	57
Figura 3	Capa normativa del POT 555 de 2021	59
Figura 4	Recorte de ortofotografía 2004 - localidad de Suba.	63
Figura 5	Recorte de ortofotografía 2009 - localidad de Suba.	65
Figura 6	Recorte de ortofotografía 2024 - localidad de Suba.	67
Figura 7	Resultado clasificación supervisada 6 coberturas.....	69
Figura 8	Clasificación supervisada de coberturas en Suba con imagen 2004.....	72
Figura 9	Clasificación supervisada de coberturas en Suba con imagen 2009.....	74
Figura 10	Clasificación supervisada de coberturas en Suba con imagen 2024.....	76
Figura 11	Tendencia del área urbana en Suba entre 2004 y 2024	77
Figura 12	Cambio del área de Mosaicos de pastos y cultivos en Suba (2004-2024).....	78
Figura 13	Cambio del área de la cobertura vegetal en Suba (2004-2024).....	79
Figura 14	Mapa de detección de cambios de coberturas del suelo correspondiente al periodo 2004-2024.....	83
Figura 15	Mapa de detección de cambios de coberturas del suelo correspondiente al periodo 2004-2009.....	85
Figura 16	Mapa de detección de cambios de coberturas del suelo correspondiente al periodo 2004-2009.....	87
Figura 17	Dendrograma resultante de la clasificación supervisada del año 2004.	95
Figura 18	Dendrograma resultante de la clasificación supervisada del año 2009.	96
Figura 19	Dendrograma resultante de la clasificación supervisada del año 2024.	97
Figura 20	Resumen estadístico de la participación en la encuesta sobre percepción de zonas verdes.	99
Figura 21	Ubicación geográfica de las personas encuestadas en la localidad de Suba.....	100
Figura 22	Distribución de los participantes según la edad.....	102

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Figura 23 Percepción de los encuestados sobre los cambios en las zonas verdes.	103
Figura 24 Causas percibidas por los encuestados sobre la disminución de las zonas verdes. ...	104
Figura 25 Percepción de la comunidad sobre el cuidado de las zonas verdes por parte de las autoridades.	105
Figura 26 Percepción del impacto por pérdida de zonas verdes en Suba.	106
Figura 27 Problemas más frecuentes asociados a la pérdida de vegetación en Suba.	107
Figura 28 Nivel de participación comunitaria frente a la pérdida de zonas verdes.	108

Siglas, acrónimos y abreviaturas

APP	Asociación Público-Privada
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAR	Corporación Autónoma Regional
EAAB	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
EEP	Estructura Ecológica Principal
ESRI	Environmental Systems Research Institute, Inc.
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IDU	Instituto de Desarrollo Urbano
IGAC ^[OBJ]	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
POT	Plan de Ordenamiento Territorial
SBN	Soluciones Basadas en la Naturaleza
SDA	Secretaría Distrital de Ambiente
Survey123 ^[OBJ]	Aplicación de recolección de datos de ESRI
SUDS	Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible
UAECD	Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital
UAESP	Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos
UPL	Unidad de Planeamiento Local
UPZ	Unidad de Planeamiento Zonal
PACA	Plan de Acción Cuatrienal Ambiental
PAI	Plan de Acción Institucional
PROCEDA	Proyecto Ciudadano de Educación Ambiental
PRAE	Proyecto Ambiental Escolar
ZPE	Zona de Protección Ecológica

Resumen

El presente trabajo de grado analiza la disminución de la cobertura vegetal en la localidad de Suba, Bogotá D.C., como efecto de la expansión urbana durante 2004–2024. Se empleó una metodología mixta que integró primero la comparación documental de los Planes de Ordenamiento Territorial POT 190 (2004) y POT 555 (2021), posteriormente se realizó el análisis espacial de ortofotografías de alta resolución para 2004, 2009 y 2024 mediante clasificación supervisada, de igual forma se realizó una encuesta georreferenciada a residentes de la localidad de suba con el fin de tener la percepción de la comunidad. Los resultados evidencian un proceso sostenido de urbanización con efectos directos sobre la vegetación: la cobertura vegetal se redujo en 557,58 ha (−22,24% respecto a 2004, al pasar del 24,98% al 19,42%), mientras que las zonas urbanas alcanzaron el 50,40% del territorio en 2024, con un incremento acumulado de 552,46 ha y una aceleración marcada a partir de 2009. En el componente normativo, el POT 555 de 2021 incorpora un enfoque más robusto hacia la renaturalización, la conectividad ecológica y la infraestructura verde, ubicando la Estructura Ecológica Principal como eje del modelo territorial, en contraste con el énfasis más pasivo del POT 190 de 2004. La encuesta obtuvo 330 respuestas válidas, la mayoría percibe una disminución de las zonas verdes. En conjunto, los hallazgos cuantifican la pérdida de cobertura, identifican patrones espaciales de cambio y evidencian brechas entre la planificación y la conservación efectiva; por ello, se proponen estrategias de restauración ecológica, fortalecimiento de la conectividad (corredores y nodos verdes) y gobernanza participativa para mitigar los impactos de la expansión urbana y robustecer la sostenibilidad ambiental de Suba

Palabras clave: Expansión urbana, cobertura vegetal, análisis espacial, ortofotografías, POT, Suba, sostenibilidad urbana.

Abstract

This thesis analyzes the decline of vegetation cover in the locality of Suba, Bogotá D.C., as an effect of urban expansion during 2004–2024. A mixed-methods approach was employed: first, a documentary comparison of the Territorial Ordering Plans (POT) 190 (2004) and 555 (2021); second, a spatial analysis of high-resolution orthophotos for 2004, 2009, and 2024 using supervised classification; and third, a georeferenced survey of Suba residents to capture community perceptions. The results show sustained urbanization with direct effects on vegetation: vegetation cover decreased by 557.58 ha (–22.24% relative to 2004, from 24.98% to 19.42%), while urban areas reached 50.40% of the territory in 2024, with a cumulative increase of 552.46 ha and a marked acceleration after 2009. On the regulatory side, POT 555 (2021) adopts a more robust approach to renaturalization, ecological connectivity, and green infrastructure, positioning the Main Ecological Structure as the backbone of the territorial model, in contrast to the more passive emphasis of POT 190 (2004) yielded 330 valid responses, and most participants perceived a decline in green areas. Taken together, the findings quantify the loss of cover, identify spatial patterns of change, and reveal gaps between planning and effective conservation; accordingly, the study proposes strategies for ecological restoration, strengthening connectivity (green corridors and nodes), and participatory governance to mitigate the impacts of urban expansion and enhance Suba’s environmental sustainability.

Keywords Urban expansion, vegetation cover, spatial analysis, orthoimages, POT, Suba, urban sustainability.

Introducción

En las últimas décadas, Bogotá ha sido escenario de un crecimiento urbano acelerado, que ha generado transformaciones profundas en su territorio. La localidad de Suba, situada al noroccidente de la ciudad, ha sido una de las más afectadas por este fenómeno. El avance constante de nuevas construcciones, infraestructuras y asentamientos ha ocasionado una disminución progresiva de su cobertura vegetal, lo que representa un desafío relevante para la sostenibilidad ambiental, la conservación de los ecosistemas urbanos y la calidad de vida de su población.

El presente trabajo de grado tiene como propósito analizar el efecto de la expansión urbana en la cobertura vegetal de la localidad de Suba, mediante un enfoque metodológico mixto que combina herramientas de análisis geoespacial, revisión normativa y percepción social. El estudio abarca un periodo de veinte años, a través del análisis de ortofotografías correspondientes a los años 2004, 2009 y 2024. Adicionalmente, se revisan los lineamientos ambientales establecidos en los dos últimos Planes de Ordenamiento Territorial (POT) de la ciudad, y se integra la percepción de los habitantes mediante una encuesta georreferenciada, lo que permite vincular el componente social en la valoración de los cambios territoriales.

El problema que motiva esta investigación se centra en la pérdida progresiva de áreas con vegetación, producto de una expansión urbana que, en muchos casos, ha sido desarticulada de los principios de planificación ambiental. Esta situación ha tenido implicaciones importantes, tales como la fragmentación de ecosistemas, la reducción de zonas verdes funcionales, el aumento de superficies impermeables y la alteración del ciclo hidrológico, afectando de manera directa la biodiversidad y el equilibrio ecológico local.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Con base en lo anterior, el objetivo general del estudio consiste en identificar los patrones de cambio en la cobertura vegetal de la localidad de Suba durante el periodo 2004–2024, utilizando herramientas de análisis espacial y normativo. De manera complementaria, se busca: comparar los enfoques ambientales presentes en los POT analizados; cuantificar el cambio porcentual de cobertura vegetal en los años evaluados; comprender la percepción de la comunidad frente a estos cambios; y formular recomendaciones orientadas a la conservación y restauración de los espacios naturales urbanos.

Las preguntas de investigación que orientan este estudio son: ¿cuáles han sido los principales cambios en la cobertura vegetal de la localidad de Suba entre los años 2004 y 2024?, ¿qué diferencias existen entre los enfoques de conservación establecidos en los dos POT analizados?, ¿qué percepción tiene la comunidad local sobre la pérdida de cobertura vegetal?, y ¿qué acciones pueden implementarse para mitigar los efectos negativos de este proceso?

La relevancia de esta investigación radica en la necesidad de generar información precisa, actualizada y útil para la toma de decisiones en el ámbito de la planificación territorial y la gestión ambiental urbana. Al integrar diferentes perspectivas —espacial, normativa y social—, el estudio aporta elementos que permiten comprender de manera integral la transformación del paisaje en Suba, al tiempo que contribuye al diseño de estrategias que promuevan una urbanización más sostenible y consciente con el entorno natural.

1. Planteamiento del problema

La urbanización es uno de los fenómenos más significativos del siglo XXI. A medida que la población mundial sigue creciendo, las ciudades continúan expandiéndose para satisfacer la demanda de vivienda, infraestructura y servicios. Este proceso, conocido como expansión urbana, implica la conversión de áreas naturales en terrenos urbanos, lo que lleva a la fragmentación de hábitats y, finalmente, a la pérdida de biodiversidad (Athor, 2012).

Cuando se construyen nuevas infraestructuras, los ecosistemas que antes eran continuos se dividen, lo que dificulta el movimiento de especies y reduce la diversidad genética dentro de las poblaciones, causando una homogeneización biótica y afectando especialmente a aquellas especies que dependen de grandes extensiones de hábitat (Peña, 2022). Además, la pérdida de conectividad entre hábitats aumenta el riesgo de extinción local de especies, pues les resulta más difícil encontrar recursos esenciales como alimento y refugio.

Otro impacto significativo es la contaminación generada por los procesos de expansión urbana, en los cuales las emisiones de gases, residuos sólidos y contaminación del agua afectan negativamente a los ecosistemas circundantes (Salas et al., 2019). Estos cambios, junto con la alteración de los ciclos ecológicos, como el ciclo del agua debido a la expansión de áreas asfaltadas y cementadas, agravan la situación. Diversos estudios han comprobado que la riqueza de especies en áreas urbanas alcanza su máximo a niveles moderados de urbanización; sin embargo, no todos los organismos se ven afectados por igual, y el impacto de la urbanización puede variar notablemente en función de características de las especies, como la capacidad de dispersión y la especialización en el uso del hábitat y otros recursos (Concepción, 2022).

Los procesos de urbanización a nivel global han superado constantemente las proyecciones realizadas por expertos, lo que ha llevado a un crecimiento exacerbado. Este crecimiento es el componente central de los cambios en la cobertura y el uso de la tierra, que

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

amenazan considerablemente la conservación de los ecosistemas a nivel mundial (Concepción, 2022). De hecho, el aumento de la superficie urbanizada experimentó un fuerte incremento durante la segunda mitad del siglo XX. Aunque las áreas urbanizadas pueden albergar cierta biodiversidad, el reemplazo de cubiertas naturales por superficies artificiales provoca cambios importantes en la composición de las especies.

En el caso de Colombia, la urbanización se ha visto impulsada por factores como la migración rural-urbana. Según un análisis reciente, en Colombia, la migración de población rural-urbana ha experimentado un nuevo impulso debido a la decadencia del sector agrario, la pobreza rural, la concentración de la propiedad, la situación de violencia generada por grupos al margen de la ley y el consecuente desplazamiento forzado, lo que ha llevado a un flujo constante de personas desde áreas rurales y pequeños poblados hacia las grandes ciudades (Universidad Externado de Colombia, 2007).

En Bogotá, ciudad con una población estimada en más de 8 millones de habitantes en 2024, los desafíos asociados al crecimiento urbano y la sostenibilidad ambiental son evidentes. Este crecimiento se debe, en gran parte, a la búsqueda de mejorar los niveles de calidad de vida, la oferta de estudios en educación superior y la búsqueda de oportunidades laborales, entre otras causas.

El déficit de cobertura vegetal en Bogotá no solo afecta la disponibilidad de espacios recreativos y de esparcimiento, sino que también agrava problemáticas ambientales como el aumento de las temperaturas superficiales urbanas, la contaminación del aire, la presión sobre los recursos hídricos y el aumento del ruido. Además, el incremento de áreas impermeables ha modificado el ciclo hidrológico, reduciendo la infiltración y la evapotranspiración, lo que genera mayor escorrentía y riesgo de inundaciones (Voogt & Oke, 2003; Chudnovsky et al., 2004).

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Según estudios recientes, Bogotá cuenta con un promedio de 4,54 m² de espacio público efectivo por habitante en el sector urbano, datos del Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público (DADEP); cifra que se encuentra muy por debajo del estándar recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que establece un mínimo de 15 m² por habitante (OMS, 2010). Esta situación es aún más crítica en cuanto a zonas verdes, ya que representan apenas el 5.54% del territorio urbano, generando un impacto negativo sobre la calidad de vida de sus habitantes y el equilibrio ambiental.

Así mismo, los factores políticos han desempeñado un papel crucial en este proceso. Las políticas de ordenamiento territorial han demostrado ser insuficientes para frenar el crecimiento desordenado de la ciudad. Según Álvarez y Agredo (2013), el ordenamiento territorial está fundamentado en acuerdos políticos administrativos, dejando de lado los aspectos ecosistémicos o de carácter ambiental, indican que solo el Decreto 1729 del 2002 establece el ordenamiento del país por medio de cuencas hidrográficas, superando a los conocidos POT (Planes de Ordenamiento Territorial) Ley 388 de 1997.

Astorkiza y Ferrero (2011) explican que la expansión urbana descontrolada ha sido causada entre otras causas por la falta de coordinación entre los distintos niveles de gobierno y las decisiones de planeación a corto plazo, afectando ecosistemas estratégicos y promoviendo la segregación socioespacial.

En cuanto a los factores culturales, las percepciones de los habitantes sobre calidad de vida y aspiraciones sociales también han incidido en la transformación del territorio. Bernal (2021) destaca que la preferencia de ciertos sectores de la población por vivir en viviendas más grandes y en entornos menos congestionados ha fomentado el crecimiento de urbanizaciones en la periferia. Por lo tanto, este modelo de desarrollo conlleva el aumento de la demanda de

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

infraestructura vial y servicios básicos, acelerando la modificación de la cobertura del suelo y reemplazando áreas rurales y espacios naturales por urbanizaciones de baja densidad.

Ahora bien, con respecto al área de estudio del proyecto, se tiene que la localidad de Suba está ubicada al noroccidente de la ciudad de Bogotá y limita por el norte con el municipio de Chía, por el sur con la localidad de Engativá, por el oriente con la localidad de Usaquén y por el occidente con el municipio de Cota; cuenta con una extensión de 10.056 hectáreas lo cual corresponde al 6,1% del área de la ciudad y se distribuye en 12 Unidades de Planeamiento Zonal (UPZ) y 1 Unidad de Planeamiento Rural (UPR) (Alcaldía Local de Suba, 2021, p. 15), así mismo, es una de las localidades con mayor participación de población del Distrito Capital, de acuerdo con las cifras de población proyectada reportada por el DANE en su sitio web (<https://www.dane.gov.co/>), para el año 2024 la localidad contaba con un total de 1.313.453 habitantes, representando el 16,3% de la población de la ciudad de Bogotá para el mismo año (8.034.649 hab.) . En cuanto al área construida en la localidad de Suba, la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (UAECD, 2024, p. 33) reportó un crecimiento del 0.88% en el año 2023 con respecto al año 2022 y del 1% en el año 2024 con respecto al año 2023, siendo este último equivalente a 415.745 m² más de área construida.

Teniendo en cuenta las características mencionadas, el desarrollo de este estudio cobra relevancia al considerar que la localidad de Suba cuenta con una EEP (Estructura ecológica principal) importante, conformada por 40 elementos así: un (1) Área Forestal Distrital, cuatro (4) Parques Ecológicos Distritales de Humedal, un (1) Santuario Distrital de Fauna y Flora, un (1) Parque Ecológico Distrital de Montaña, dos (2) Reservas Forestales Protectoras Productoras, once (11) Zonas de Manejo y Preservación Ambiental, doce (12) Parques Urbanos, la Zona de Ronda Protección del Río Bogotá y diez (10) Corredores Ecológicos de Ronda (Alcaldía Local de Suba, 2021, p. 19).

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Finalmente, para este proyecto de investigación se decidió abarcar una ventana de tiempo de 20 años, que permitiera identificar la pérdida de cobertura vegetal en la localidad a causa de los procesos de urbanización. En este sentido, considerando la disponibilidad de los insumos base, correspondientes a ortofotos del área de estudio se analizaron tres períodos de tiempo correspondientes a los años 2004, 2009 y 2024.

1.1 Antecedentes

La expansión urbana en Bogotá D.C. ha generado una serie de transformaciones significativas en el paisaje y los ecosistemas ecológicos principales de las diferentes localidades que conforman la ciudad, lo que ha ocasionado un creciente interés por comprender las implicaciones de este fenómeno; el cual ha sido estudiado ampliamente desde la década del 2000, con estudios relevantes en el ámbito internacional como el 2012; Seto, Guneralp y Hutyra presentaron una investigación con pronósticos probabilísticos sobre el cambio global de la cobertura urbana y los impactos directos en puntos críticos de la biodiversidad y la biomasa de carbono tropical, en donde se determinó que si las tendencias actuales en la densidad poblacional continúan aumentando exponencialmente, para el 2023 la cobertura urbana se triplicara, dando lugar a una pérdida considerable de hábitats en puntos críticos clave de la biodiversidad, perturbando regiones que no se habían visto afectadas por el desarrollo urbano.

De acuerdo con lo anterior, en el año 2014, Liu, Z., He, C., Zhou, Y., & Wu, J., se preguntaron ¿Cuánto de la tierra se ha urbanizado? El dato reportado en diferentes literaturas varía entre 1-3%, sin embargo, los autores establecieron un marco jerárquico con tres definiciones: área urbana, área construida y área de superficie impermeable, siendo estas tres medidas diferentes de urbanización en particular las proporciones entre ellas, facilitando la comprensión de los procesos biofísicos, socioeconómicos y los impactos de la urbanización.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

The Nature Conservancy en el 2018, a través de *La naturaleza en el siglo urbano*, refleja la importancia de una acción global que busque conservar el hábitat para el bienestar humano mediante objetivos claros de protección de la biodiversidad, partiendo de una visión general de las tendencias de crecimiento urbano y el impacto de este en la biodiversidad, las áreas protegidas y el cambio climático.

El artículo de McDonald, Kareiva y Formano (2008) destaca las implicaciones de la urbanización actual y futura para las áreas protegidas globales y la conservación de la biodiversidad, mostrando que el crecimiento urbano tendrá impactos en las ecorregiones y áreas protegidas, donde 29 de las 825 ecorregiones mundiales tienen más de un tercio de su área urbanizada, siendo de estas 29 ecorregiones el único hogar de 213 especies endémicas.

Continuando en esta línea, Bren d'Amour., et al. (2016) expone cómo los patrones globales de expansión urbana afectarán a futuro las áreas cultivadas a nivel mundial, combinando proyecciones espaciales de expansión urbana, datos de tierras de cultivos globales y rendimientos de cultivos, dando como resultado una pérdida una pérdida entre el 1.8-2.4% de las tierras de cultivos globales para el 2030.

Por otro lado, Sun, X., Ma, Q. & Fang, G. (2022) usaron los patrones de uso y cobertura de la tierra para identificar cómo estos afectan seriamente los servicios ecosistémicos, especialmente zonas urbanas altamente desarrolladas; explorando cómo cambian espacialmente a través de las jerarquías urbanas, comprendiendo así los mecanismos que pueden promover la planificación sostenible de los paisajes urbanos.

Cui, N., et al. (2019) partiendo del evidente y rápido proceso urbanístico en la ciudad de Zhuhai, China como estudio de caso, y dado su estatus como zona de importancia económica, Zhuhai ha experimentado una rápida urbanización en las últimas décadas y por ello el nivel de salud del ecosistema se ha convertido en un problema de atención. Los análisis de dicho nivel y

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

las correlaciones entre la urbanización y este no solo revelan los estados de los ecosistemas urbanos y la medida en que la urbanización afectó a estos, sino que proporcionan nuevos conocimientos sobre la planificación sostenible y la gestión de los recursos.

Los antecedentes internacionales proporcionan un marco global robusto que contextualiza la expansión urbana como un fenómeno acelerado con impactos profundos en biodiversidad, servicios ecosistémicos y recursos naturales, sirviendo de base teórica para el análisis localizado en Suba. Estudios como los de Seto et al. (2012), destacan proyecciones probabilísticas y modelados espaciales que predicen triplicamientos de áreas urbanas y pérdidas significativas en hábitats y tierras cultivadas, enfatizando la necesidad de integrar datos demográficos y satelitales para anticipar riesgos en hotspots, similares a los encontrados en Bogotá. Liu et al. (2014) y Sun et al. (2022) refinan esta perspectiva mediante marcos jerárquicos y análisis de patrones de uso del suelo, revelando variabilidades en definiciones de urbanización y sus efectos biofísicos, lo que inspira métricas cuantitativas para medir impermeabilización y degradación en contextos locales. The Nature Conservancy (2018), McDonald et al. (2008) y Cui et al. (2019) complementan esto al enfocarse en conservación de áreas protegidas y salud ecosistémica, promoviendo infraestructuras verdes y planificación sostenible para mitigar extinciones locales y fragmentación. En conjunto, estos trabajos evidencian un consenso sobre la urgencia de transitar de análisis globales a intervenciones locales, como las propuestas en este proyecto, para alinear políticas urbanas con objetivos de sostenibilidad, evitando que la expansión en Suba replique estos patrones globales.

En el ámbito latinoamericano son múltiples las investigaciones que se han desarrollado en torno a la expansión de la zona urbana y su impacto en la pérdida de cobertura vegetal, especialmente en países sudamericanos como Perú, en donde Buiza, N. A., & Esteban, R. D.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

(2023) tuvieron como objetivo analizar la pérdida de la cobertura vegetal como consecuencia del crecimiento urbano en la ciudad Huaraz-Ancash durante los años 2010 y 2022, aplicando un enfoque cuantitativo a partir de los datos estadísticos que comprueban la relación existente entre las variables inmersas en el estudio. Así mismo Bolívar, S. & Velásquez, R. (2021) buscaron determinar la variación de cobertura vegetal y suelo por la expansión urbana aplicando técnicas de teledetección en Lomas de Mangamarca en el periodo comprendido entre 2000 y 2020, haciendo uso de métodos de clasificación supervisada y corrección atmosférica donde identificaron una variación del 19% de la expansión urbana causando una variación de 53% en la cobertura vegetal y suelo.

La pérdida de cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo en la Amazonía ecuatoriana trabajado por Heras, M., et al. (2024) analiza la pérdida de cobertura vegetal y los cambios en el uso del suelo durante el período 2001-2020, donde se evidenciaron pérdidas mayores en el año 2020 para la cobertura de bosque denso y para usos agrícolas y ganaderos; también en Ecuador Palacios, L., Figueroa, J., & Zambrano, B. (2023) basaron su investigación en analizar los cambios de cobertura vegetal de los años 2000,2005,2010,2015 y 2022, así como también una protección de coberturas para la próxima década, en la zona alta de la parroquia Chirijos, determinando que en los años de estudio hubo una pérdida importante de vegetación muy densa, aproximadamente de 52,16 hectáreas.

Picón et al. (2017) abordan la planificación ecológica en Santiago, Chile, sugiriendo que la creación de planes integrales que consideren la sostenibilidad ambiental y social es fundamental para mejorar la calidad ecológica de las ciudades. Este enfoque resuena con la situación en Colombia, que ha avanzado en la planificación ecológica, aunque aún enfrenta desafíos significativos.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Finalmente, en el ámbito regional, LaRota-Aguilera et al. (2024) abordan los desafíos de la planificación del uso del suelo en las infraestructuras verdes de los Andes tropicales, destacando cómo el crecimiento poblacional y la intensificación agrícola han llevado a pérdidas en biodiversidad y servicios ecosistémicos. Este artículo subraya la importancia de adoptar enfoques integrales que consideren las relaciones urbano-rurales y la sostenibilidad de los ecosistemas en el contexto de un desarrollo económico que no comprometa los recursos naturales.

Los antecedentes latinoamericanos ilustran patrones regionales de urbanización descontrolada en contextos andinos y amazónicos, caracterizados por pérdidas aceleradas de cobertura vegetal impulsadas por migraciones y actividades antrópicas, ofreciendo metodologías prácticas y lecciones transferibles al caso de Suba. Buiza & Esteban (2023) y Bolívar & Velásquez (2021) en Perú demuestran correlaciones cuantitativas y técnicas de teledetección (clasificación supervisada) para cuantificar las degradaciones de la cobertura vegetal, destacando la expansión como factor causal directo, lo que valida el enfoque multitemporal del proyecto actual. Heras et al. (2024) y Palacios et al. (2023) en Ecuador extienden esto a análisis predictivos en ecosistemas tropicales, identificando pérdidas masivas en bosques densos, resaltando alteraciones en usos agrícolas que resuenan con las transiciones de mosaicos de pastos en Suba. Picón et al. (2017) en Chile y LaRota-Aguilera et al. (2024) en los Andes enfatizan planificación ecológica integral, abordando desafíos como intensificación agrícola y segregación socioespacial mediante infraestructuras verdes y enfoques urbano-rurales. Colectivamente, estos estudios revelan una tendencia regional hacia la fragmentación ecosistémica, impulsada por políticas insuficientes, y proponen herramientas como teledetección y cartografía participativa para mitigar impactos; en este sentido, el proyecto en Suba da continuidad al incorporar ortofotografías de alta resolución y comparación de POT, fomentando estrategias de restauración que eviten la

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

replicación de estos patrones en Bogotá, promoviendo una urbanización más equilibrada con la conservación ambiental.

A nivel local, en el año 2018, Calvache Muñoz presentó una investigación para identificar los cambios de cobertura en San Juan de Pasto, donde se realizó un análisis multitemporal con imágenes satelitales LANDSAT en un periodo de 27 años (1989-2016), utilizando el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), evidenciando una pérdida de cobertura vegetal urbana en las doce comunas que conforman la ciudad (Calvache Muñoz, 2018).

El artículo de Tovar Corzo (2006) destaca la importancia del manejo del arbolado urbano y la implementación de corredores ecológicos, los cuales buscan conectar la estructura ecológica principal de la ciudad. Aunque los árboles han sido tradicionalmente considerados elementos secundarios en el paisaje urbano, se reconoce su valor en la mejora de la calidad de vida, la purificación del aire y la regulación de temperaturas, lo cual subraya la necesidad de políticas públicas efectivas en la gestión del arbolado.

Continuando con esta línea, Wiesner Ceballos (2007) presenta propuestas de planeación del paisaje que abordan la arborización y la protección del paisaje en Bogotá. A través del Plan de Ordenamiento Territorial, se establece un sistema que integra parques urbanos y corredores ecológicos, resaltando la relevancia de la planificación ambiental en la conservación de los recursos naturales y la mejora de la calidad del entorno urbano.

Por otro lado, Nieves Rodríguez y Preciado Beltrán (2016) analizan la problemática ambiental y territorial en Tenjo, un municipio que ha sufrido las consecuencias del crecimiento de Bogotá. Su estudio revela cómo la expansión urbana ha impactado negativamente en los ecosistemas naturales, lo que enfatiza la necesidad de una planificación territorial más consciente que evite la degradación ambiental.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Betancur Quiceno (2017) propone una gestión ambiental urbana centrada en la infraestructura verde, sugiriendo que esta puede ser una herramienta innovadora para abordar los problemas ambientales en las ciudades. Su propuesta invita a la creación de metodologías y políticas públicas que promuevan la restauración ecológica urbana.

Gómez Rodríguez y Beltrán (2018) presentan una modelación dinámica que evidencia la relación directa entre la urbanización y el deterioro de los bienes y servicios ecosistémicos. Este estudio resalta la urgencia de abordar el cambio en el uso del suelo y sus implicaciones para la sostenibilidad de los recursos naturales.

El análisis geoespacial de Avendaño et al. (2018) complementa esta discusión al examinar la dinámica de los humedales en Bogotá, evidenciando los conflictos de uso del suelo y la pérdida de área, lo que refuerza la necesidad de una planificación cuidadosa y consciente de los recursos hídricos y ecosistemas urbanos.

Achicanoy, J., Rojas, R., & Sánchez, J. (2018) desarrollaron lineamientos metodológicos mediante el uso de herramientas SIG y teledetección para la identificación de cambios, el modelamiento y proyección de la expansión urbana y el cambio de coberturas vegetales, haciendo uso de imágenes satelitales y fotografías aéreas realizaron una clasificación orientada a objetos de coberturas en cuatro periodos de tiempo en la localidad de Suba. Allí mismo Arango, I., en el 2022 propone estrategias para enfrentar la predominante construcción de vivienda formal mediante conjuntos cerrados, ya que este nuevo patrón urbano segrega las poblaciones, privatiza la seguridad y transforma negativamente el espacio público, generando una desarticulación urbana dejando en evidencia un grave problema de planificación.

Segura, J. (2023) plantea la dificultad que existe en la definición de los bordes de la ciudad, ya que estas suelen extenderse más allá de lo regulado, por ello la investigación de Segura sostiene que, para el éxito de esta definición de bordes, debe plantearse un enfoque rural,

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

es decir, contener la expansión urbana desde la consolidación de áreas rurales. En el marco de la investigación se trabajó con un estudio de caso, el cual fue el borde urbano-rural de la localidad de Suba en Bogotá.

En Suba, Cortes, L. (2022) busca presentar el planteamiento de un Distrito de Biodiversidad Urbana en la localidad, ubicada en la Región Metropolitana de Bogotá, como un nuevo instrumento legal fundamentado en los principios de infraestructura verde urbana. Este modelo busca posicionar las zonas locales de relevancia ecológica como núcleo dinamizador de las dinámicas cotidianas de la comunidad, integrando la conservación ambiental con el uso social. Su objetivo principal es promover una gestión sostenible de la expansión urbana, garantizando que el desarrollo territorial priorice la protección de los ecosistemas y la conexión entre espacios naturales, al tiempo que fomenta prácticas urbanísticas respetuosas con el entorno.

Finalmente, Velasco, J. (2023) estudió la posibilidad de cambiar una vía del Plan Vial de la ciudad, por un parque, en un sector de la calle 147 también conocida como la Avenida Transversal de Suba la cual forma parte de la malla vial intermedia y es, una vía que por diferentes motivos no fue ejecutada, dejando la zona como un espacio abandonado y paulatinamente convirtiéndose en un parque público en el sector de Santa Helena al norte de la ciudad.

Los antecedentes locales en Colombia y Bogotá consolidan una evidencia específica sobre la expansión urbana en contextos como Suba, integrando análisis geoespaciales, normativos y participativos para abordar la degradación ambiental y proponer soluciones adaptadas. Calvache Muñoz (2018) y Achicanoy et al. (2018) establecen bases metodológicas con análisis multitemporal y SIG en Pasto y Suba, cuantificando pérdidas vegetales mediante índices como SAVI y clasificaciones orientadas a objetos, directamente inspirando el uso de ArcGIS Pro en

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

este proyecto para medir cambios porcentuales. Tovar Corzo (2006), Wiesner Ceballos (2007) y Betancur Quiceno (2017) enfatizan manejo de arbolado, corredores ecológicos e infraestructura verde en Bogotá, destacando la integración de POT para mejorar calidad de vida y regulación climática. Nieves Rodríguez y Preciado Beltrán (2016), Gómez Rodríguez y Beltrán (2018), y Avendaño et al. (2018) analizan impactos en periferias y humedales, modelando el deterioro de servicios ecosistémicos y conflictos de uso, evidenciando desconexiones entre planificación y realidad territorial. Estudios recientes como Arango (2022), Segura (2023), Cortes (2022) y Velasco (2023), este último en Suba proponen innovaciones como distritos de biodiversidad y conversiones paisajísticas para contrarrestar la segregación y fragmentación. En síntesis, estos trabajos convergen en la necesidad de articular conocimiento técnico con participación comunitaria y políticas efectivas, revelando deficiencias en implementación de POT que este proyecto aborda mediante encuestas georreferenciadas y propuestas de mitigación, fortaleciendo la sostenibilidad urbana en Suba y contribuyendo a un ordenamiento territorial más inclusivo en Bogotá.

2. Justificación

La ciudad de Bogotá ha experimentado un crecimiento urbano acelerado durante las últimas décadas, lo cual ha afectado significativamente su cobertura vegetal, particularmente la localidad de Suba, la cual ha tenido una transformación significativa de su paisaje, donde áreas naturales y agrícolas se han ido convirtiendo en superficies construidas, siendo esto uno de los desafíos más apremiantes que enfrentan las ciudades actualmente, con consecuencias de tipo ambiental, social y económico; de allí la necesidad de comprender y cuantificar los efectos causados en la cobertura vegetal de la localidad, así como también la posibilidad de plantear estrategias más efectivas que promuevan una urbanización sostenible, enfocadas a la reforestación urbana, la protección de humedales y la creación de corredores ecológicos que conecten los espacios verdes existentes (Cruz & Motta, 2017).

La expansión urbana en la localidad de Suba puede clasificarse como un proceso dinámico y multifacético, ya que se ha caracterizado por un desarrollo planificado y a su vez no planificado, donde se observa una notable concentración en el borde occidental y con dirección sur-norte, configurando un corredor que se extiende hacia el norte de la localidad. (Romero, 2010).

Un patrón diferenciador en Suba y algunas de las localidades vecinas, es que la expansión urbana ha sido impulsada no solo por el crecimiento residencial, sino también por usos industriales y comerciales. (Romero, 2010), esta métrica está claramente definida por la ubicación geográfica de Suba, ya que se encuentra interconectada con municipios vecinos como Funza, Mosquera y Cota. (Romero, 2010), dicha relación entre la actividad económica y los patrones de urbanización es crucial, ya que los cambios en la economía de Bogotá han influido directamente en la forma y ubicación de la expansión en Suba, generando desarrollos con fines comerciales e industriales, y no solo de vivienda.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

La coexistencia de urbanización planificada y asentamientos irregulares en zonas protegidas o de alto riesgo revela una dualidad en el patrón de expansión, donde el crecimiento informal, a menudo carente de servicios básicos, intensifica la degradación ambiental y aumenta la vulnerabilidad de la población a desastres naturales. (Universidad Externado de Colombia & UNFPA, 2007)

El crecimiento urbano acelerado también ha provocado el deterioro ambiental de las áreas perimetrales, con una rápida ocupación de estas zonas por poblaciones en condiciones precarias, la persistente ocupación de suelos de protección y la formulación de proyectos urbanísticos sobre componentes de la EEP (Estructura Ecológica Principal) evidencian deficiencias significativas en la aplicación de la planificación urbana y/o una desconexión entre la intención de las políticas y la realidad del desarrollo en el terreno. (secretaria Distrital de Planeación, Diagnóstico Suba, 2020)

La expansión urbana en Suba ha tenido un impacto directo y cuantificable en la reducción de su cobertura vegetal, especialmente en sus valiosos humedales, un recuento histórico de la localidad ha permitido determinar que el humedal La Conejera, por ejemplo, sufrió una drástica reducción del 85.11% de su área entre 1950 y 1989 debido al aumento de los desarrollos urbanos en Suba, durante esas 4 décadas, disminuyendo de 145.02 hectáreas a 21.59 hectáreas de superficie de agua (Cruz Solano et al., 2017), aunque ha logrado una recuperación parcial, alcanzando un área actual de 58.9 hectáreas, un estudio multitemporal en La Conejera mostró una reducción progresiva del 26% de la cobertura vegetal entre 2003 y 2010. (Gonzales Espinosa et al., 2024). Esta dinámica muestra una tendencia de degradación histórica con esfuerzos de recuperación recientes, pero con amenazas persistentes.

Un informe de Greenpeace en 2020 señaló que el 80% de la población en Bogotá vive con déficit de áreas verdes, aunque esta cifra no es específica de la localidad de Suba, si indica una

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

tendencia generalizada en la ciudad, lo que permite inferir que la situación en Suba es parte de un problema sistémico más amplio en la planificación urbana y la gestión ambiental de Bogotá.

Finalmente, la disminución de la cobertura vegetal tiene también implicaciones importantes sobre la calidad de vida de los ciudadanos. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) señala que la falta de espacios verdes puede incrementar problemas de salud pública. En el caso de Bogotá, la relación entre urbanización descontrolada y disminución de espacios verdes ha generado una ciudad menos habitable y más propensa a los efectos del cambio climático. En lo que respecta a la calidad del aire, de acuerdo con el informe de calidad del aire de Bogotá para el año 2021, esta se ha visto afectada por la reducción de vegetación, incrementando así los niveles de material particulado (Secretaría Distrital de Ambiente, 2021).

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Analizar patrones en la disminución de la cobertura vegetal de la localidad de Suba en la ciudad de Bogotá entre los años 2004, 2009 y 2024, utilizando ortofotografías de alta resolución y datos de los dos últimos POT.

3.2 Objetivos Específicos

1. Determinar la diferencia de enfoques presentes en los dos últimos POT relacionado con la conservación de la cobertura vegetal en la localidad de Suba
2. Medir la disminución de la cobertura vegetal de la localidad de Suba utilizando ortofotografías de alta resolución, para cuantificar el cambio porcentual de áreas en los periodos de tiempo evaluados
3. Evaluar mediante encuestas la percepción de la comunidad de Suba sobre la disminución de la cobertura vegetal

4. Proponer un conjunto de acciones y recomendaciones para la conservación y mitigación de la pérdida de cobertura vegetal en la localidad de Suba.

4. Marco Teórico

4.1 Urbanización

La urbanización es un fenómeno mundial, complejo y poco comprendido, pero dicha complejidad es inherente a los procesos urbanos porque confluyen múltiples factores y variables a diferentes escalas espaciales y temporales. Los procesos de urbanización pueden desglosarse en tres: crecimiento urbano; incremento de la proporción de población que vive en las ciudades; expansión urbana o incremento del área ocupada por los parches urbanos. Aquellos que visualizan el problema como crecimiento urbano, enfocan hacia las consecuencias de la concentración humana en espacios relativamente reducidos, abogando por un mejoramiento de las condiciones de vida dentro de la ciudad. Aquellos que se centran en la deriva urbana también agregan el despoblamiento de las áreas rurales y sus posibles consecuencias y finalmente aquellos que analizan el problema desde la expansión urbana han generado modelos para describir las formas de crecimiento, clasificándolas y discutiendo acerca de la preocupación por las consecuencias sobre el entorno vecino a la ciudad; y sobre la ciudad, la pérdida de “cobertura vegetal” y las funciones ecológicas que brindan servicios a la sociedad (Athor, 2012).

4.2 Cobertura Vegetal

Es el espacio que ocupa la vegetación en una determinada área, haciendo parte de un ecosistema, y cumpliendo funciones importantes para la conservación y protección de la fauna, la regulación del clima y control de la contaminación a nivel local (Cuellar & Serna, 2021). Estas coberturas son importantes en la preservación de las cuencas hidrográficas, sin embargo, se ven afectadas por actividades antrópicas derivadas de los procesos caóticos de urbanización, causando de esta manera consecuencias drásticas en la vegetación y a su vez el aumento de las

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

alteraciones en el ciclo hidrológico (Bastidas, 2020). La presencia de cobertura sobre la superficie del suelo sirve como una pantalla protectora ante la incidencia directa de los rayos del sol. El resultado de esta acción protectora es la disminución de la evaporación del agua retenida en el suelo, suponiendo un mantenimiento de la humedad de este.

4.3 Clasificación de Imágenes Digitales

Es un mecanismo mediante el cual se obtiene información de las imágenes digitales y consiste en convertir los datos en información acerca de los objetos y fenómenos de la superficie terrestre, a partir de los valores de cada píxel en la imagen, y teniendo en cuenta la similitud de las propiedades espectrales de los mismos, de modo que es factible identificar diferentes tipos de vegetación, zonas urbanas, ríos y lagos o unidades litológicas (López & Torres).

4.3.1 Clasificación Supervisada

Proceso mediante el cual se clasifican los píxeles de una imagen según los diferentes tipos de cobertura del área de estudio, utilizando el algoritmo del software y los valores característicos de cada clase. Lo anterior se lleva a cabo a partir de muestras representativas de cada tipo de cobertura, conocidas como áreas de entrenamiento, las cuales permiten establecer los atributos espectrales para cada clase o categoría. Posteriormente, se crea una clave de interpretación para comparar cada píxel en el conjunto de datos con cada una de las categorías y este es etiquetado con el nombre de la clase a la cual se parece más (López & Torres).

4.4 Corine Land Cover

La metodología Corine Land Cover fue desarrollada en 1990 por la Comisión de la comunidad Europea dentro del programa CORINE (Coordination of information on the environment), dentro de la cual se definió la metodología para realizar el inventario de la cobertura de la tierra, permitiendo describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, mediante la interpretación visual de imágenes satelitales de resolución

media para obtener mapas de coberturas a diferentes escalas. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2014).

4.5 Evaluación de la Exactitud Temática

Proceso mediante el cual se obtiene como resultado el nivel de concordancia entre los valores de los atributos asignados con respecto a su verdadera característica (Ministerio del Ambiente del Perú, 2014, p.11).

4.5.1 Precisión

Nivel de concordancia entre medidas repetidas de la misma característica, el cual es representado como la agrupación de puntos de muestreo (Ministerio del Ambiente del Perú, 2014, p.12).

4.5.2 Exactitud del Productor

Hace referencia al porcentaje de elementos bien clasificados dentro de una clase (Ministerio del Ambiente del Perú, 2014, p.12).

4.5.3 Exactitud del Usuario

Corresponde al valor clasificado de manera correcta en base al total dado como cierta clase (Ministerio del Ambiente del Perú, 2014, p.12).

4.5.4 Nivel de Confianza

Hace referencia al rango que incluye el valor real de un parámetro desconocido con un nivel de confianza determinado. Generalmente es utilizado el intervalo de 95 %, lo cual indica que existe

la probabilidad del 95% de incluir un valor verdadero (Ministerio del Ambiente del Perú, 2014, p.12).

4.5.5 Matriz de Confusión

Matriz en la cual se muestra el desempeño de un modelo de clasificación. En donde las filas indican las clases de referencia y las columnas las clases del mapa clasificado de la matriz se obtienen los datos relacionados a continuación: Clases bien estimadas, corresponde a la sumatoria de los puntos bien asignados, expresando la confiabilidad del mapa. Por su parte el total de clases hace referencia al número total de puntos de muestreo evaluados en la matriz de confusión, finalmente el total por clase representa la sumatoria de valores para cada una de las clases.

A Partir de los resultados de la matriz de confusión se pueden obtener los siguientes dato: Error de comisión, el cual hace referencia a la probabilidad de que encuentre información incorrecta, se calcula mediante la siguiente fórmula: Error de comisión = 1-Exactitud del usuario, por otro lado el Error de omisión nos muestra la medida en que el productor del mapa representó de manera errónea los rasgos del terrenos, para calcularlo se utiliza la siguiente fórmula Error de Omisión= 1-Exactitud del productor.

La exactitud del usuario (U_Accuracy) se calcula dividiendo el número de coincidencias entre el total de clases resultados que se muestran en las columnas, por otro lado, la exactitud del productor (P_Accuracy) se obtiene de dividir número de coincidencias entre el total resultados que se muestran en las filas de la matriz de confusión (Ministerio del Ambiente del Perú,2014, p.19,20).

El índice de Kappa expresa la coincidencia entre un producto cartográfico y los datos de referencia, tomando en cuenta únicamente los valores reales y eliminando los generados de manera errónea (Ministerio del Ambiente del Perú,2014, p.20).

$$K = (Po - Pe) / (1 - Pe)$$

Siendo:

Po = Número de aciertos/ Número total de clases

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

$$P_o = (A1 + B2 + C3) / M$$

Pe = Cálculo generado desde la matriz de confusión.

$$P_e = (EP1 \times EU1) + (EP2 \times EU2) + (EP3 \times EU3)$$

El coeficiente kappa, según Landis y Koch (1977), se interpreta como se muestra en la *Tabla 1*

Tabla 1

Valoración del coeficiente de Kappa

Coeficiente de Kappa (k)	Fuerza de Concordancia
0.00	Pobre
0.01 - 0.20	Leve
0.21 - 0.40	Aceptable
0.41 - 0.60	Moderada
0.61 - 0.80	Considerable
0.81 - 1.00	Casi Perfecta

Nota: Valoración del coeficiente kappa (Landis y Koch, 1977).

4.6 Dendrograma

Es un diagrama que muestra el proceso de agrupamiento de elementos, donde se evidencian las distancias o similitudes entre clases. Cuando las clases son muy cercanas lo que dificulta la diferenciación para realizar la clasificación se fusionan con el objeto de disminuir la oportunidad de que se produzcan clasificaciones incorrectas (Esri, s.f.).

4.7 Plan de ordenamiento territorial

Colombia cuenta con la ley 388 de 1997 la cual define que los planes de ordenamiento territorial son el instrumento básico para desarrollar los procesos de ordenamiento territorial, el cual está definido como el conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas adoptadas para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y el uso del suelo. (Ley 388, 1997)

4.8 Deforestación

La deforestación hace referencia a la pérdida total o parcial de la cobertura vegetal en un área determinada, ya sea por causas naturales o por actividades antrópicas como la expansión urbana, la agricultura, la ganadería o la infraestructura. Este proceso implica no solo la pérdida de árboles, sino también la alteración del equilibrio ecológico, la degradación de suelos y la fragmentación de hábitats, afectando directamente los servicios ecosistémicos que prestan los bosques (FAO, 2020).

4.9 Eco barrios

Los eco barrios son entendidos como espacios habitables que integran criterios ambientales, eficiencia en el uso de recursos, y participación ciudadana, contribuyendo así a la regulación climática local, la reducción del impacto ambiental y la mejora de la calidad del ambiente urbano (Decreto Distrital 121, 2014).

5. Metodología

5.1. Enfoque Metodológico

Este trabajo se implementará a través de una metodología mixta, combinando tanto la investigación cualitativa como cuantitativa del proceso de expansión urbana y su influencia sobre la pérdida de vegetación en la localidad de Suba, Bogotá D.C.

En cuanto al enfoque cualitativo, se contempla el análisis comparativo de la normativa, que implica un estudio más profundo del POT vigente y del anterior, identificando los cambios y tendencias en la política urbana y su efecto sobre la cobertura vegetal. También se incluye el análisis cartográfico, mediante el uso de imágenes satelitales, para medir la reducción de áreas verdes en Suba durante el período comprendido entre ambos POT.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Por otro lado, el enfoque cuantitativo incluye el análisis de imágenes satelitales mediante herramientas estadísticas, con el fin de encontrar correlaciones y patrones entre la expansión urbana y la pérdida de cobertura vegetal en la localidad de Suba, Bogotá D.C. Así mismo, se realizará un análisis estadístico de los datos obtenidos para sustentar los hallazgos identificados.

Adicionalmente, se incorpora un enfoque participativo a través del diseño y aplicación de una encuesta dirigida a la población de la localidad de Suba, con el propósito de recopilar sus percepciones frente a la pérdida de vegetación y los efectos de la expansión urbana.

Finalmente, se integrarán los enfoques cualitativo y cuantitativo, de modo que los hallazgos permitan realizar un análisis holístico del crecimiento urbano y su impacto sobre la cobertura vegetal en la comunidad de Suba. A partir de estos resultados, se propondrán directrices que contribuyan a la planificación y gestión del ordenamiento territorial, con el objetivo de evitar la pérdida de cobertura vegetal y promover un desarrollo urbano sostenible.

5.2 Tipo de Estudio

El estudio realizado se enmarca en una tipología variada, ya que se puede categorizar como

5.2.1 Estudio de Caso

Este tipo de estudio se enfoca en analizar un caso específico, en este caso, la expansión urbana y su efecto en la pérdida de la cobertura vegetal en la localidad de Suba.

5.2.2 Estudio Descriptivo-Comparativo

Esta categoría de estudio pretende describir y comparar características de un fenómeno, en este caso, la expansión del área urbana y su influencia en la reducción de la cobertura vegetal durante el período del POT 190 de 2004 y el POT 555 de 2021.

5.3 Procedimiento

En el marco del desarrollo del estudio, se establecieron las siguientes fases:

5.3.1 Fase I: Comparación de políticas y normativas de los POTs de Bogotá frente a la gestión de la cobertura vegetal

Se comparan las diferencias en las políticas y regulaciones relacionadas con la conservación de la cobertura vegetal entre los dos últimos POT, para este objetivo se realiza la siguiente metodología, teniendo en cuenta los decretos 190 del 2004 y 555 del 2021 con sus respectivos anexos cartográficos:

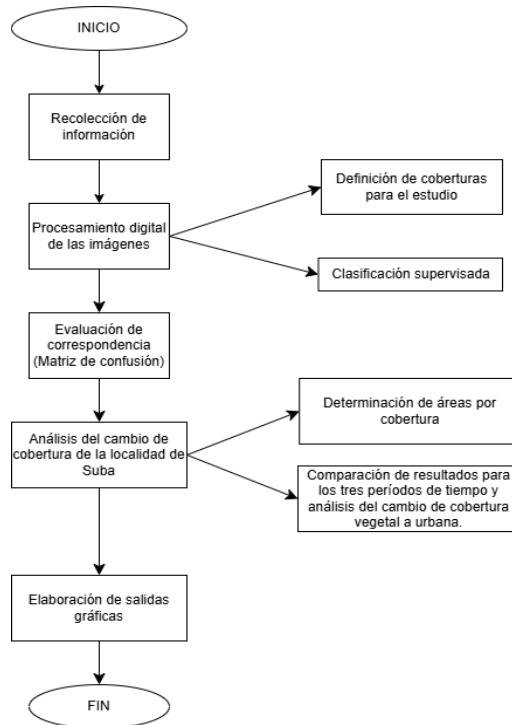
1. Revisión de las políticas, regulaciones y estrategias de ambos POTs relacionadas con la conservación y restauración de la cobertura vegetal
2. Comparación de los objetivos, metas, y herramientas de los dos planes en cuanto a la conservación de cobertura vegetal y su implementación
3. Análisis de las zonas de protección definidas en los dos POT (reservas ecológicas, parques metropolitanos, zonas de amortiguación, humedales, etc.)
4. Revisión comparativa de los dos POT desde las capas shapefile

5.3.2. Fase II: Análisis de Ortofotografías

A Analizar la dinámica de la pérdida de zonas con cobertura vegetal en la localidad de Suba (Bogotá D.C.) permite identificar los patrones y tendencias asociados a su disminución. Para llevar a cabo esta evaluación, se realizó un análisis multitemporal de los cambios en la cobertura vegetal durante los años 2004, 2009 y 2024. El procedimiento metodológico empleado se detalla en la *Figura 1*

Figura 1

Procedimiento de análisis de pérdida de cobertura vegetal en Suba



Nota: Elaboración propia

A continuación, se describen las actividades desarrolladas según el flujo de trabajo anterior.

5.3.2.1. Recolección de Información

El análisis de las coberturas en la zona de estudio se llevó a cabo mediante el uso de tres ortofotos de alta resolución correspondientes a los años 2004, 2009 y 2024 que fueron obtenidas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), cuyas características se detallan en la *Tabla 2*

Tabla 2*Características de las imágenes utilizadas para el estudio*

Año	Tipo de imagen	Resolución espacial	Resolución radiométrica	Resolución espectral	Fuente
2004	Ortofotografía compuesta de fotografías aéreas tomadas con cámara métrica análoga.	2 m	8 bits	3 bandas	Empresa de Acueducto y alcantarillado de Bogotá (EAAB)
2009	Ortofotografía compuesta de imágenes ortorectificadas provenientes del sensor PlanetScope.	0.25 m	8 bits	8 bandas	Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)
2024	Ortofotografía compuesta de imágenes ortorectificadas provenientes del sensor PlanetScope.	3 m	8 bits	8 bandas	Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

Nota: elaboración propia

Es importante destacar que la precisión de este tipo de análisis está influenciada por la resolución espacial de las ortoimágenes empleadas. En el caso de imágenes de alta resolución, la representación del territorio es más detallada, lo que facilita la diferenciación entre coberturas y reduce los errores asociados a la mezcla espectral. A diferencia de las imágenes de menor resolución pueden generar conflicto al representar múltiples coberturas en un solo píxel, afectando la precisión de la clasificación.

5.3.2.2. Procesamiento Digital de las Imágenes

Las actividades relacionadas con el procesamiento digital de las imágenes para este estudio se llevaron a cabo mediante el uso de las herramientas disponibles en el software ArcGis pro, perteneciente al grupo ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.).

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Las ortofotografías obtenidas para la realización del estudio corresponden a la totalidad de la ciudad de Bogotá, por lo tanto, previo a la clasificación de coberturas, las ortofotografías se recortaron al límite de la localidad de Suba mediante herramientas genéricas de extracción por máscara disponibles en entornos SIG, empleando como máscara el polígono oficial de localidades. Con ello, la imagen base quedó restringida al ámbito de estudio. Después, se llevó a cabo un ajuste del contraste y brillo para cada imagen, con el fin de mejorar la identificación de las coberturas.

En segundo lugar, y teniendo en cuenta que una de las ortofotografías tiene una resolución espectral de tan solo 3 bandas, se utilizó para los tres años, la combinación de color verdadero y se llevó a cabo una primera clasificación supervisada, con el fin de evaluar la pertinencia de la selección de las seis (6) categorías establecidas. Es importante mencionar que dicha clasificación de prueba se realizó únicamente a la ortofotografía del año 2024, siendo esta una de las de menor resolución espacial.

Una vez obtenidos los resultados de la clasificación supervisada “prueba” se evidenció un alto grado de similitud entre los valores de los píxeles generados por las firmas espectrales pertenecientes a distintas categorías, lo que genera un bajo índice de precisión de usuario, reflejado en múltiples errores de comisión, incrementando la probabilidad de que un píxel clasificado en una clase dada realmente NO pertenezca a dicha clase. Por lo anterior se establecieron tres (3) clases las cuales agrupan la totalidad de coberturas identificadas inicialmente en el área de estudio, como se describe en la Tabla 3, considerando casos particulares como: por ejemplo, que las redes de comunicación o vías secundarias asociadas a las zonas urbanas presentan un valor de píxel muy similar a los mosaicos de pastos y cultivos, así mismo los cultivos confinados pese a pertenecer a la clase dos (2) de acuerdo con los dispuesto

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

en la Metodología Corine Land Cover, por su valor de píxel muy similar a la zona urbana fueron categorizados dentro de esta.

Los espacios verdes dedicados a las actividades de recreación y esparcimiento dentro de las zonas urbanas, los ríos, canales, zonas pantanosas (humedales) con altos procesos de eutrofización y finalmente la vegetación acuática sobre cuerpos de agua, presentan un valor de píxel muy similar a la cobertura vegetal, pese a pertenecer a categorías diferentes de acuerdo con lo dispuesto en la Metodología Corine Land Cover, por su valor de píxel fueron clasificados como cobertura vegetal. Ver *Tabla 3*

Tabla 3

Clases de coberturas utilizadas para el análisis.

Coberturas	Descripción – Metodología Corine Land Cover
Zonas urbanas	1.1 Zonas urbanizadas: Territorios cubiertos por infraestructura urbana y todos aquellos espacios verdes y redes de comunicación asociados con ellas; así mismo incluye la clasificación. 2.2.5 Cultivos confinados: Tierras ocupadas por cultivos bajo infraestructuras de invernaderos. 2.4.2: Tierras ocupadas por pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual.
Mosaico de pastos y cultivos	1.4.1 Zonas verdes urbanas: Zonas cubiertas por vegetación dentro del tejido urbano.
Cobertura vegetal	1.4.2 Instalaciones recreativas: Terrenos dedicados a las actividades de recreación y esparcimiento. (se aclara que de esta categoría no se tuvo en cuenta el área construida)

Coberturas	Descripción – Metodología Corine Land Cover
	<p>3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva: Grupo de coberturas vegetales de tipo natural y producto de la sucesión natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, con poca o ninguna intervención antrópica.</p>
	<p>3.3 Cobertura arbórea: Grupo de coberturas vegetales dominadas por la presencia de árboles, aislados o formando agrupaciones, ya sean de origen natural o resultado de procesos de plantación o restauración, distribuidos en diversos tipos de sustrato y pisos altitudinales. Incluye áreas con intervención antrópica variable, destinadas principalmente a la protección, producción o conservación de servicios ecosistémicos.</p>
	<p>3.4 Cuerpos de agua: Superficies de agua continentales naturales o artificiales, permanentes o temporales, que incluyen lagos, lagunas, embalses, estanques, humedales y otros depósitos de agua superficial, que cumplen funciones ecológicas, paisajísticas y de regulación hídrica dentro del territorio.</p>
	<p>3.5 Zonas pantanosas: Comprende las tierras bajas, que generalmente permanecen inundadas durante la mayor parte del año. Dentro de los pantanos se pueden encontrar cuerpos de agua, algunos con cobertura parcial de vegetación acuática. Para el caso de estudio se consideran dentro de esta categoría los humedales.</p>

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Notas: Elaboración propia a partir de información de la Metodología Corine Land Cover.

Una vez determinadas las coberturas para efectuar la clasificación, se creó una capa vectorial de tipo punto, a partir de la cual se seleccionaron las muestras representativas de cada clase, estas clases se agruparon en tres categorías generales zonas urbanas, mosaico de pastos y cultivos, y cobertura vegetal tal como se presenta en la **Tabla 4**, la definición de estas categorías responde a los objetivos del proyecto, orientados a identificar la pérdida de vegetación en relación con el proceso de urbanización en la localidad de Suba, esta agrupación permite simplificar el análisis, facilitando la diferenciación entre coberturas naturales y antrópicas, y al mismo tiempo mejora la precisión del modelo al reducir errores de confusión entre coberturas con firmas espectrales similares

Tabla 4

Clases de coberturas supervisadas

ID	Tipo de cobertura
1	Zonas urbanas
2	Mosaico de pastos y cultivos
3	Cobertura vegetal

Nota: Clasificación realizada a partir de coberturas presentes en la localidad de Suba, definidos para el análisis supervisado.

Posteriormente, se llevó a cabo la creación de la firma espectral de las coberturas identificadas haciendo uso de la herramienta “CREATE SIGNATURES” la cual consiste que a partir de regiones de entrenamiento (ROIs) de cada clase, extrae los valores de reflectancia de todas las bandas y calcula para cada clase su vector medio (μ) y matriz de covarianza (Σ). Ese “paquete” es la firma que describe estadísticamente a la clase, una vez con este resultado, se utilizó para llevar a cabo la clasificación mediante la herramienta “MAXIMUM LIKELIHOOD

CLASSIFICATION” la cual asume que las estadísticas de cada clase en cada banda se distribuyen normalmente y calcula la probabilidad de que un píxel determinado pertenezca a una clase específica.

Una vez obtenida la clasificación, a través de la herramienta “MAJORITY FILTER” para suavizar los bordes y eliminar píxeles aislados propios de la clasificación píxel a píxel. El procedimiento recorre una ventana móvil y reemplaza el valor del píxel central por la clase más frecuente dentro de esta ventana.

5.3.2.3. Evaluación del Desempeño de la Clasificación

Una vez realizada la clasificación supervisada de cada imagen, se evaluó su desempeño mediante la construcción de una matriz de confusión a partir de una muestra independiente de puntos de validación. Esta matriz cruza las clases reales (filas) con las clasificadas (columnas) la diagonal son los aciertos y el resto son errores de omisión y de comisión.

Así mismo, se generó el dendrograma para las clasificaciones efectuadas a cada una de las ortofotografías, permitiendo determinar la cercanía entre cada una de las categorías seleccionadas, es decir que tanta similitud existe entre una categoría con respecto a las demás.

5.3.2.4. Análisis del Cambio de Cobertura de la Localidad de Suba

A partir de los resultados de la clasificación supervisada efectuada a cada una de las ortofotografías, se llevó a cabo un ajuste manual de los polígonos obtenidos para cada una de las ortofotografías, con el fin de perfeccionar los resultados a partir de la fotointerpretación de la zona de estudio.

Posteriormente, se realizó el cálculo del área que representa cada una de las coberturas clasificadas, para lo cual fue necesario convertir a un shape de polígonos, los resultados ajustados de la clasificación, para esto, se utilizó en primer lugar la herramienta “RASTER TO POLYGON” la cual convierte cada grupo contiguo de píxeles que tienen la misma clase en

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

polígonos, posteriormente se ejecutó la herramienta "DISSOLVE", con el fin de agrupar las áreas según la clase y así obtener los tres polígonos de las clases estudiadas.

Una vez generados los polígonos para las tres coberturas, se efectuó el cálculo del área de cada uno de estos, así como el respectivo porcentaje. Para esto se editó la tabla de atributos de la capa, creando dos nuevos campos correspondientes a "Área (Ha)" y "Porcentaje (%)" cuyos valores fueron calculados a través de las funciones "Calculate geometry" y "Calculate Field", respectivamente.

Finalmente, se compararon los resultados de los tres (3) años analizados, identificando los cambios ocurridos en dicho periodo.

5.3.3 Fase III encuestas:

En esta fase, se realizó una encuesta a través de la aplicación Survey123 para obtener datos de la percepción de la comunidad en relación con la reducción de la cobertura vegetal en la localidad de Suba. A continuación, se describen los pasos en esta fase:

Diseño de la Encuesta: Se elaboró un cuestionario detallado que aborda diversos aspectos relacionados con la percepción de la disminución de la cobertura vegetal. Las preguntas están orientadas a obtener información sobre la opinión de la comunidad de Suba respecto a las causas, efectos y posibles soluciones para la pérdida de vegetación en la zona.

Recolección de Datos: La encuesta fue administrada mediante la aplicación Survey123, y estuvo disponible para su diligenciamiento a través del siguiente enlace:

Enlace de la encuesta: <https://arcg.is/1G14nH2>

El enlace de la encuesta fue enviado directamente a líderes sociales, presidentes de juntas de acción comunal de la localidad de Suba, quienes desempeñaron un papel fundamental dado que compartieron la encuesta con amigos, vecinos, familiares, afiliados a las juntas quienes permitieron que llegara a personas de la localidad de todas las edades y de diferentes enfoques;

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

adicional a esto también, se publicó en redes sociales de la localidad, como grupos de Facebook, utilizando las redes sociales. De esta forma, toda la aplicación y divulgación de la encuesta se realizó mediante herramientas tecnológicas, optimizando su alcance y asegurando la participación de diversos actores locales.

Muestra: Para este estudio se empleó un muestreo probabilístico aleatorio simple, a fin de garantizar la representatividad de la población residente en la localidad de Suba y permitir inferencias válidas desde el punto de vista estadístico.

De acuerdo con estimaciones del DANE, la población total de la localidad de Suba es de aproximadamente 1.300.000 habitantes. Con base en esta cifra, se calculó el tamaño de muestra requerido utilizando la fórmula para población finita:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{(e^2 \cdot (N - 1)) + (Z^2 \cdot p \cdot (1 - p))}$$

(Cochran, 1977)

Donde:

- n: tamaño de la muestra
- N: población total (1.300.000)
- Z: valor z para un nivel de confianza del 95% (1,96)
- p: proporción esperada (0,5 para máxima variabilidad)
- e: margen de error (0,054 \approx 5,4%)

Sustituyendo los valores:

$$n = \frac{1,300,000 \cdot (1,96)^2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5)}{(0,054^2 \cdot (1,300,000 - 1)) + ((1,96)^2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5))} \approx 330$$

Por tanto, se definió como tamaño óptimo de la muestra un total de 330 encuestas, lo cual permite mantener un nivel de confianza del 95% y un margen de error aproximado del 5,4%, valores plenamente aceptables en estudios sociales y urbanos de escala local.

Análisis de la Información: Mediante el uso de ArcGIS, se realiza un análisis espacial y estadístico para identificar patrones y tendencias en los datos recolectados. Este análisis ayuda a comprender mejor cómo la comunidad percibe la disminución de la cobertura vegetal y qué factores consideran más importantes durante estos años; dado que la encuesta toma la ubicación de las personas que realizan la encuesta.

5.3.4 Fase IV: Propuesta de Estrategias de Conservación y Mitigación

Se proponen un conjunto de acciones y recomendaciones para la conservación y mitigación de la pérdida de cobertura vegetal en la localidad de Suba teniendo en cuenta los resultados de los objetivos 1, 2 y 3

Estas estrategias se plantearán integrando tres fuentes de información, la primera es revisión del marco normativo vigente para asegurar coherencia regulatoria; la segunda es medidas instrumentales con SIG que son las clasificaciones por años del período de estudio y análisis comparativos para ubicar áreas y problemas y la tercera es los aportes técnico-sociales provenientes de la encuesta georreferenciada con la perspectiva de la comunidad. Con estos insumos se identificarán las problemáticas prioritarias y se diseñarán líneas de actuación, seleccionando criterios de evaluación definidos previamente con el fin de tener coherencia

regulatoria, impacto ecológico potencial, viabilidad técnica y de mantenimiento y justicia socioespacial.

6. Resultados

6.1. Fase I: Comparación de políticas y normativas de los POTs de Bogotá frente a la gestión de la cobertura vegetal

Para desarrollar este objetivo se empleó una metodología cualitativa basada en la comparación documental entre los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) 190 de 2004 y 555 de 2021, con un enfoque específico en la conservación de la cobertura vegetal en la localidad de Suba. La metodología incluyó una revisión de los contenidos normativos y técnicos de ambos planes, con mayor enfoque en los componentes ambientales relacionados con la Estructura Ecológica Principal (EEP), la gestión del recurso hídrico, la planificación del espacio público verde, las medidas frente al cambio climático y la zonificación del suelo urbano y rural.

Asimismo, se realizó un análisis territorial enfocado en la localidad de Suba, identificando los ecosistemas estratégicos presentes en el área como los humedales Juan Amarillo, La Conejera, Córdoba y Torca-Guaymaral, además del río Bogotá, las quebradas y canales urbanos, la reserva Thomas Van Der Hammen y las zonas de expansión urbana que generan afectación en las zonas verdes; donde finalmente, se incluyó una revisión comparativa de la cartografía de ambos POT, con el fin de identificar las diferencias en la representación, conectividad e integración de los elementos ecológicos dentro de la estructura urbana en la localidad de suba.

Tabla 5

Comparación ambiental entre POT 190 de 2004 y el POT 555 de 2021

Aspecto	POT 190 de 2004	POT 555 de 2021
---------	-----------------	-----------------

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Objetivo ambiental general	Consolidar una Estructura Ecológica Principal (EEP) que sirva como soporte ambiental del ordenamiento territorial.	Reverdecer la ciudad con una EEP funcional, interconectada y central al modelo territorial.
Cobertura vegetal	Protección pasiva a través de delimitaciones. Preservar lo existente.	Renaturalización activa, restauración ecológica y aumento de la cobertura vegetal.
Enfoque territorial	Énfasis en zonificación y restricción del uso del suelo en áreas sensibles.	Visión sistémica e integrada que articula suelo, agua, biodiversidad y espacio público.

Nota: Análisis de objetivos ambientales del POT vigente y el anterior

En la **Tabla 5** podemos ver como la comparación ambiental en ambos POTs nos permite determinar, que la visión que tiene el POT 555 se proyecta a que la naturaleza de Bogotá no solo se mantenga, sino que aumenten las zonas verdes; otro análisis que se permite ver es que a diferencia del POT 190 de 2004, el POT 555 de 2021 pone la Estructura Ecológica Principal (EEP) en el centro de la planificación urbana. Ya no sólo se ve como una franja que marca límites, sino como una red verde que conecta parques, ríos y cerros y refuerza la resiliencia climática de la ciudad, esto con el fin de generar conectores ambientales estratégicos en la ciudad.

Tabla 6

Comparación de metas ambientales en los POTs

Aspecto	POT 190 de 2004	POT 555 de 2021
Áreas protegidas	Delimitación de rondas, humedales y cerros orientales como zonas de protección.	Recuperación ecológica de humedales y rondas, integración de estas áreas en corredores ecológicos urbanos.
Espacio público verde	Fomento de parques zonales y vecinales.	Aumento de la infraestructura verde multifuncional: andenes verdes, techos verdes, corredores y parques lineales.
Restauración ecológica	Sin metas específicas de restauración.	Metas claras de renaturalización, recuperación de microcuencas y restauración de ecosistemas degradados.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Aspecto	POT 190 de 2004	POT 555 de 2021
Conectividad ecológica	Limitada. Ecosistemas gestionados de forma aislada.	Creación de una red ecológica continua, especialmente bajo la estrategia "Bogotá, un río de parques".

Nota: Se comparan metas ambientales relacionadas con la cobertura vegetal

Como se mencionó en el análisis de la *Tabla 6* sobre los objetivos en los que se ven ambos POT y en el cual el POT 555 del 2021 busca crear conectores estratégicos en la ciudad, en esta comparación se metas sobre a la cobertura vegetal se puede determinar que el actual POT propone recuperar humedales y rondas, y enlazarlos en corredores verdes que recorren la ciudad. También amplía la idea de espacio público verde además de los parques tradicionales, suma andenes arbolados, techos verdes y parques lineales que funcionan como ejes de movilidad peatonal y refugio climático, esto se refleja en la creación de unidades de planeamiento local (UPL) en donde muchos de los nuevos proyectos de la ciudad se realizan con este nuevo enfoque donde se ve el territorio por upl y estas están generando proyectos de reservas de espacio público para la ampliación y mejoramiento en estas zonas, en el POT 190 del 2004 se manejaba la visión de la ciudad en escala de unidades de planeamiento Zonal (UPZ) las cuales cubrían grandes extensiones, mezclando barrios con diferentes características y necesidades, lo que dificultaba priorizar reservas de espacio público en sectores específicos, tampoco tenía metas o indicadores claros

Tabla 7

Comparación de herramientas de implementación en los POTs

Aspecto	POT 190 de 2004	POT 555 de 2021
Instrumentos cartográficos	Mapas descriptivos con delimitación de áreas de protección. Representación estática.	Cartografía proyectiva y funcional: incluye corredores, infraestructura verde y estado de los ecosistemas.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Normas de uso del suelo	Zonificación tradicional con suelos de protección.	Zonificación con enfoque ecosistémico y climático, priorizando usos compatibles con la EEP.
Gestión interinstitucional	Coordinación con entidades ambientales, pero con baja articulación.	Mayor integración entre planeación urbana, gestión ambiental y entidades territoriales (CAR, SDA, UAESP).
Participación ciudadana	Limitada en temas de conservación y cobertura vegetal.	Fortalecida mediante estrategias de gobernanza ambiental, apropiación del espacio verde y educación ecológica.
Mecanismos de financiación	Predominantemente públicos y centralizados.	Incorporación de mecanismos mixtos: inversión pública, gestión por resultados, compensaciones ecológicas.

Nota: Comparación de elementos clave de implementación ambiental en los POTs

En la *Tabla 7* se puede evidenciar que el POT 190 del 2004 solo se dibujaron zonas de protección sin mayor detalle de proyección. En cambio, el POT 555 de 2021 incorpora cartografía que proyecta la ciudad no solo delimita áreas, sino que representa corredores ecológicos, sistemas de drenaje urbano sostenible, infraestructura verde y el estado real de los ecosistemas; igual en el uso del suelo, en el anterior POT se delimitaron por zonas que comúnmente serían las zonas urbanas, de expansión y rurales; en cambio en el actual POT esta delimitación es más acorde con las dinámicas de la ciudad y con la dinámica de crecimiento y de control ambiental; donde anteriormente solo se encontraba suelo rural en las localidades de Usme, ciudad bolívar, Santafé, suba, chapinero y Usaquén; en este POT se incluyen zonas rurales y de protección en las zonas del río Bogotá, incluyendo Engativá, Kennedy, Fontibón y bosa, ampliación de la zona rural en suba. Lo anterior para preservar el corredor del río Bogotá y reducir las construcciones en esta zona.

En el POT 190 apenas tuvo algunos espacios de consulta para temas de conservación; en cambio el POT 555 fortalece la gobernanza ambiental a través de estrategias participativas que promueve la apropiación social de los proyectos verdes, la educación ecológica y la rendición de

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

cuentas sobre el mantenimiento de parques, corredores y humedales; respecto a la financiación se puede determinar con este POT que la visión busca más allá de los recursos propios, hacer alianzas entre empresas privadas, inversión nacional y cooperación nacional, como El BID y el Banco Mundial han aprobado créditos para proyectos de resiliencia en Bogotá. Por ejemplo, recientes líneas de financiamiento incluyen apoyo técnico y económico para restaurar humedales y reforzar la infraestructura verde distrital o como este otro ejemplo donde el IDU y Transmilenio establecieron una APP para construir y mantener 22 km de corredor verde sobre la Carrera Séptima, combinando ciclorruta, andenes arbolados y zonas de descanso.

Tabla 8

Comparación ambiental de los POTs en la localidad de Suba

Aspecto	POT 190 de 2004	POT 555 de 2021
Protección de Humedales	Delimitación de rondas para aislar los humedales de la urbanización, pero con persistencia de invasiones y contaminación.	Protección integral y renaturalización con adquisición de rondas, reubicación de asentamientos y restauración ecológica.
Conectividad Ecológica	Elementos naturales aislados sin una visión clara de conectividad ecológica.	Estrategia 'Bogotá, un río de parques' para interconectar humedales y el río Bogotá con corredores ecológicos.
Gestión del Recurso Hídrico	Quebradas y canales usados como receptores de vertimientos, perpetuando la contaminación.	Saneamiento de quebradas, implementación de SUDS e integración en la EEP hídrica.

Río Bogotá	Reconocimiento de su importancia, pero sin una estrategia integral de recuperación en la localidad.	Complementa proyectos de saneamiento y recuperación del cauce y rondas del río.
Gestión del Riesgo	Enfoque limitado y reactivo frente a zonas de amenaza ambiental.	Control estricto de urbanización en zonas de riesgo y uso de EEP como infraestructura protectora.
Cambio Climático	No abordado de forma transversal ni con estrategias integradas.	Estrategias claras de adaptación mediante renaturalización y control de eventos extremos.
Suelo Rural y de Expansión	Expansión urbana en áreas sensibles como Torca-Guaymaral.	Delimitación y protección del suelo rural, fomento del desarrollo agropecuario sostenible, ampliación en suelo de expansión y nueva delimitación de suelo rural

Nota: Se analizan las diferencias en la gestión ambiental territorial en Suba según los POTs

En la *Tabla 8* se realiza una comparación de los POTs respecto a la localidad de suba, teniendo en cuenta que es una localidad ambientalmente importante, dado que cuenta con el río Bogotá, Humedal la conejera, humedal torca y Guaymaral, humedal Juan Amarillo, humedal Córdoba, reserva Thomas Van Der Hammen y franja de bosque montano que corre por el borde nororiental de Suba.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Teniendo en cuenta lo anterior se puede analizar que el POT 190 de 2004 se enfocó en trazar líneas de protección alrededor de los humedales para aislarlos de la expansión urbana, pero estos no tuvieron mecanismos eficaces para evitar invasiones ni controlar la contaminación, a diferencia del POT 555 de 2021 apunta a una protección integral como la compra de predios de ronda, reubicación de asentamientos informales y restauración ecológica activa; adicional a esto busca una conexión ecológica estratégica con el proyecto “Bogotá, un río de parques” para enlazar estos fragmentos con corredores verdes

Por último, en el POT 190 se permitía que quebradas y canales sirvieran de receptores de vertimientos, lo cual generaba contaminación, a diferencia del POT 555 el cual su enfoque propone el saneamiento de quebradas, la implementación de sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) y la integración de estas acciones en la Estructura Ecológica Hídrica; esto se puede observar en proyectos que tiene el acueducto de Bogotá en las quebradas que alimentan los humedales y en el saneamiento y cambio de redes que llegan a canales de recolección de aguas lluvias.

6.1.1 Análisis Cartográfico de los POTs

Como se mencionó en la Tabla 9 de la comparación cartográfica se observa que en el POT 190 se delimito inicialmente la estructura ecológica principal (EEP) de Bogotá, incluyendo la delimitación de áreas protegidas como humedales (Juan Amarillo, La Conejera, Córdoba, torca y Guaymaral en suba), los Cerros Orientales, así como las rondas hidráulicas de ríos y quebradas, con franjas de protección, especialmente relevantes en Suba por su relación con el río Bogotá. También se identificaron zonas de suelo de protección con restricciones urbanísticas y se trazó la red de parques y espacio público; como se mencionó anteriormente el POT 555 en su cartografía detallo más las zonas ambientales, se hizo con mayor precisión, para de esta forma tener una

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

visión de la ciudad más integrada con el fin de poder conectar o articular programas y proyectos de la ciudad, por eso delimita y cartografía estos programas.

Tabla 9

Análisis de la Cartografía enfocado en la localidad de Suba

Elemento	POT 190	POT 555
Humedales de Suba (Juan Amarillo, La Conejera, Córdoba, Torca-Guaymaral)	Se muestran los límites y rondas dentro de la EEP.	Cartografía detallada con rondas restauradas, conectividad proyectada mediante corredores verdes y parques lineales, e integración en la red de 'ríos de parques'.
Río Bogotá en Suba	Representado como un límite físico con una ronda de protección frecuentemente invadida o intervenida.	Incluye una ronda de protección más amplia y restaurada, articulada a la red ecológica y con visualización de infraestructuras de tratamiento y soluciones basadas en la naturaleza.
Reserva Thomas van Der Hammen	No cuenta con una capa o delimitación, ésta se realizó posteriormente con el Acuerdo 11 de 2011 de la CAR	Se encuentra como Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá – Thomas Van Der Hammen aparece explícitamente delimitada como parte de la Estructura Ecológica Principal

Nota: Comparación de la cartografía de Suba en el POT 190 y el POT 555

La comparación realizada permite identificar diferencias significativas en donde el POT 190 permitió cierta expansión urbana en zonas rurales de Suba, debilitando la conservación de la cobertura vegetal, especialmente en el borde noroccidental, en cambio el POT 555 refuerza la protección del suelo rural y de producción agropecuaria, estableciendo límites claros a la urbanización, como se mencionó más arriba donde para la localidad de suba se amplió más área rural en la localidad de suba, incluyendo las franjas donde pasa el río Bogotá, esto con el fin de tener mayor control en el crecimiento urbano y también mejorar las zonas agropecuarias, dado

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

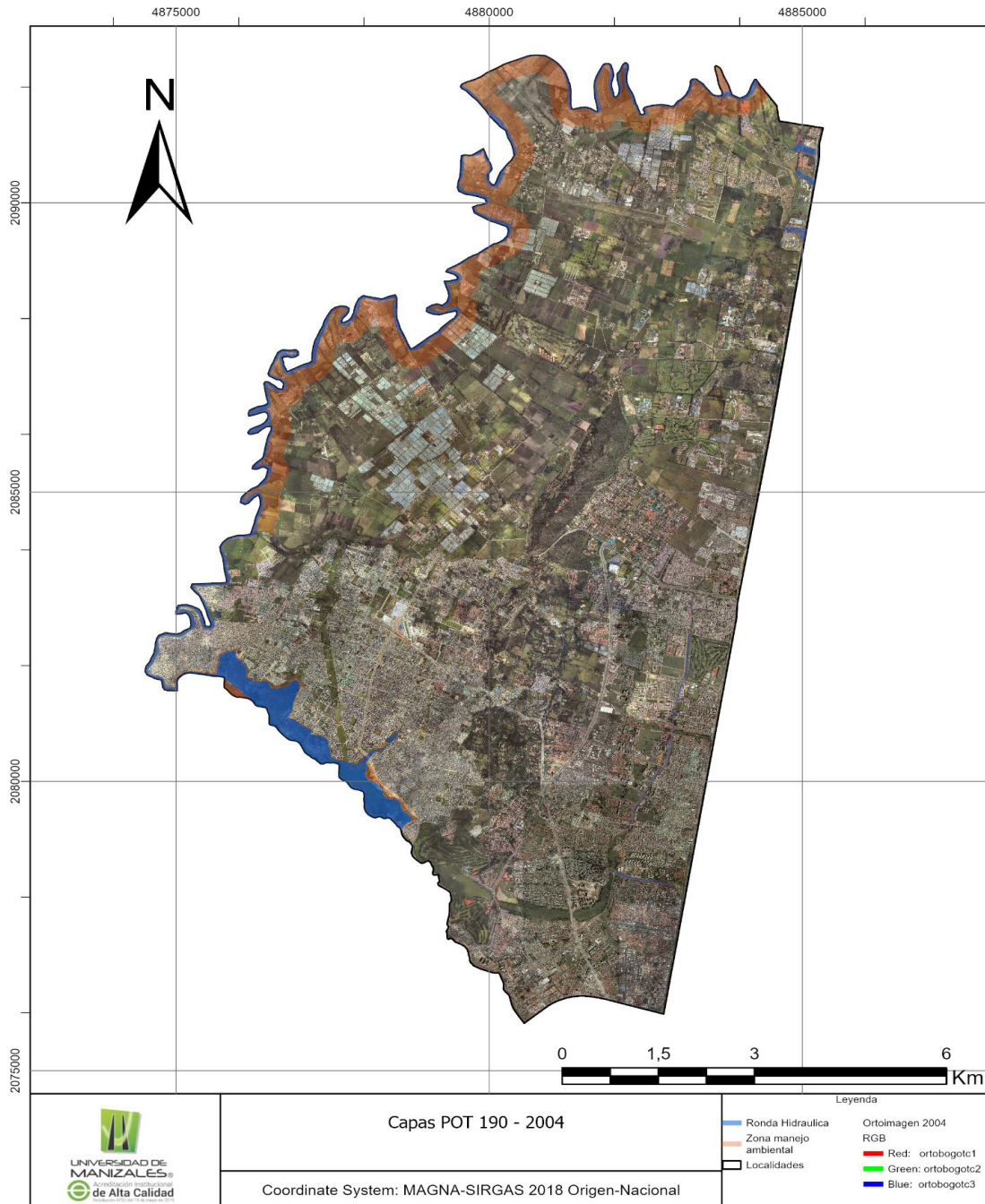
que sobre el borde del río Bogotá en la localidad de suba se ve presencia de ganado y zonas de pastoreo.

En la *Figura 2* se presenta la cartografía correspondiente al POT 190 de 2004, en la cual se observa una menor delimitación de zonas, lo que evidencia un enfoque normativo más generalizado que permitió una mayor expansión urbana sobre áreas rurales, especialmente en el borde noroccidental de la localidad.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Figura 2

Capa normativa del POT 190 de 2004.



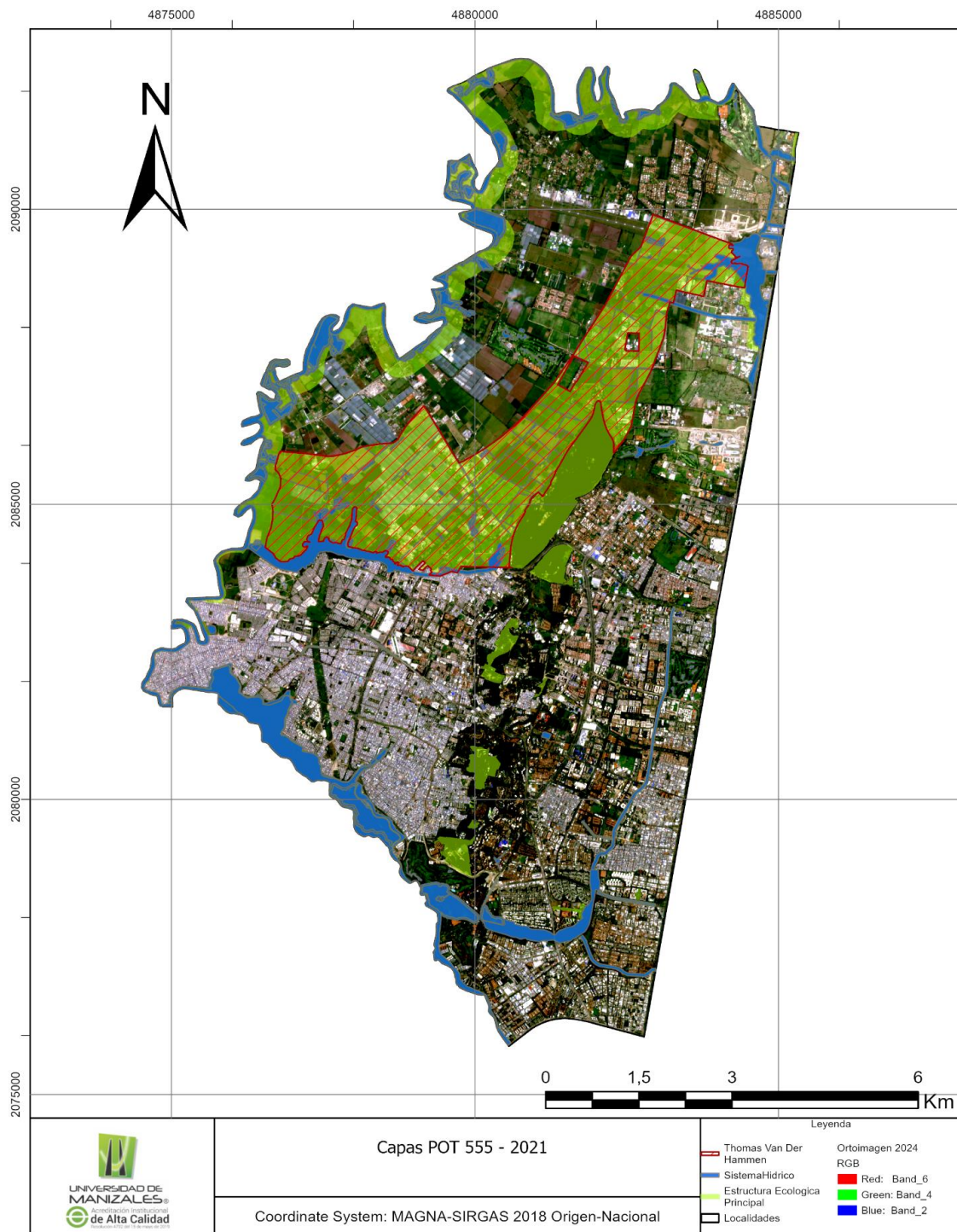
Nota: Cartografía generada a partir de la capa normativa del POT 190 de 2004 para Suba.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Por su parte, la *Figura 3* muestra las capas del POT 555 de 2021, donde se identifican más zonas delimitadas, particularmente asociadas a la protección del suelo rural y la regulación del uso agropecuario. Esta mayor segmentación normativa refleja un esfuerzo por ejercer un mayor control sobre el crecimiento urbano, en especial en áreas sensibles como las franjas adyacentes al río Bogotá, que presentan actualmente presencia de ganado y pastos destinados a la producción; de igual forma las capas disponibles del POT se colocan sobre la ortoimagen del año 2024 lo cual permite observar que en zonas de protección ambiental tienen cultivos y algunas construcciones

Figura 3

Capa normativa del POT 555 de 2021



Nota: Cartografía generada a partir de la capa normativa del POT 555 de 2021 para Suba.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Además de las diferencias en la delimitación espacial observadas en las figuras anteriores, se realizó una comparación cuantitativa del área total que abarca cada una de las capas normativas. La *Tabla 10* presenta las superficies en metros cuadrados correspondientes a los planes POT 190 y POT 555, evidenciando un incremento significativo en la cobertura del suelo regulado bajo el POT 555

Tabla 10

Comparativo de áreas entre POT 190 y POT 555

POT	m ²
POT 555	36614309,11
POT 190	11141605,29

Nota: Áreas capas geográficas shape de los POTs.

Aunque el POT 555 de 2021 mejora mucho la cartografía dado a que delimita más preciso el uso del suelo, la estructura ecológica principal y el sistema hídrico, a diferencia del POT 190 de 2004 el cual solo tenía 11141605,29 metros cuadrados delimitados, esto no asegura que los entornos ambientales estén protegidos. Aun con una zonificación más detallada, en la realidad se producen cambios y pérdidas en las áreas clave para la sostenibilidad ecológica de la localidad, dado que aun así con la visión de la ciudad con corredores ecológicos, parque de río, recuperación de espacio públicos y demás; aún se observa que se tienen construcciones permitidas o algunas ilegales en estos espacios declarados ambientales.

Respecto a la Reserva Thomas Van Der Hammen, es importante mencionarla dado que constituye una zona ambiental estratégica para la localidad de Suba y la cual durante los años del 2000 a 2023 ha tenido los siguientes procesos normativos y administrativos que han incidido en

su delimitación, manejo y protección. A continuación, en la *Tabla 11* se presentan los principales hitos que reflejan la evolución de estas decisiones.

Tabla 11

Principales decisiones sobre la Reserva Thomas van der Hammen (2000-2023)

Año	Descripción
2000	La CAR establece la reserva mediante las Resoluciones 475 y 621, definiendo su área y objetivos de conservación.
2014	La CAR adopta el Plan de Manejo Ambiental (Acuerdo 21), con una ejecución a 10 años y una inversión estimada de 235.000 millones de pesos.
2017	La administración Peñalosa propone realinderación y sustracción de áreas para 12 vías.
2019	El Distrito retira 9 de las 12 vías, manteniendo la Avenida Boyacá, la Carrera Novena y la Avenida Suba-Cota.
2023	La CAR aprueba la sustracción de 20,87 ha para la ampliación de la Avenida Boyacá, condicionada a una compensación de 62,5 ha en otras zonas de la reserva.

Nota: Resumen de las decisiones administrativas sobre la reserva entre 200 y 2023

Siguiendo lo anterior, se analiza que, aunque la reserva se encuentra delimitada y hace parte de la estructura ecológica principal, se ha redelimitado excluyendo hectáreas para ampliación de corredores viales como la Avenida Boyacá o la Avenida Guaymaral, que atraviesan o colindan con áreas de reserva, también ha contribuido a la pérdida de cobertura vegetal, el incremento de la impermeabilización del suelo y la interrupción de los corredores de fauna y flora.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

De igual forma es el caso del humedal Torca y Guaymaral lo cuales se encuentran delimitados y clasificados como áreas de protección ambiental, pero en los cuales se han delimitado zonas de expansión urbana para proyectos de vivienda los cuales están afectando la preservación ambiental generando pérdida de conectividad ecosistémica, fragmentación de hábitats, presión sobre los servicios ecosistémicos y un debilitamiento de las estrategias de restauración ambiental que se venían implementando en la localidad.

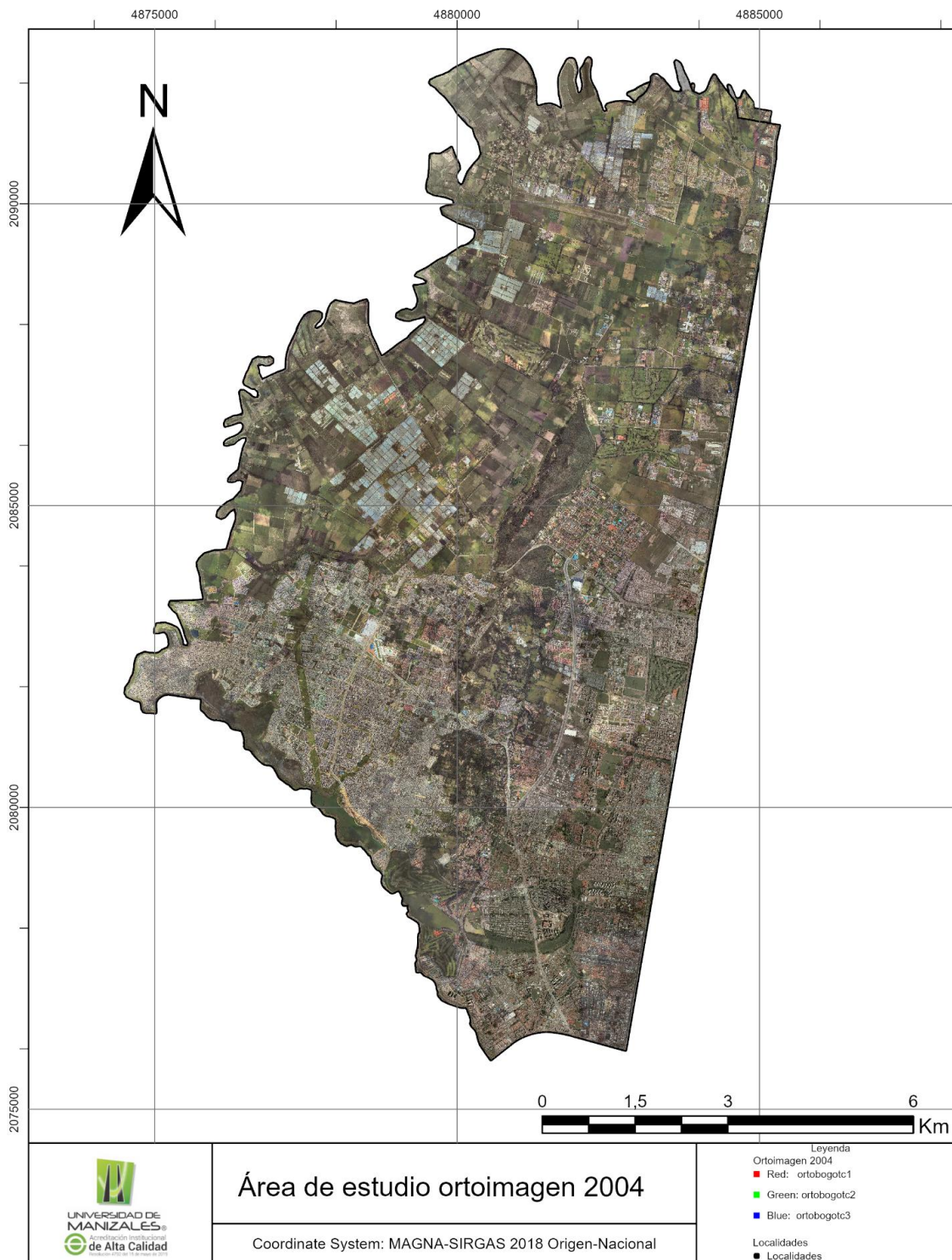
7.2. Fase II: Análisis de Ortofotografías

Este apartado tiene como propósito presentar de manera objetiva y clara, los hallazgos obtenidos acerca de la medición de la disminución de la cobertura vegetal en la localidad de Suba, a partir del análisis de clasificación supervisada y detección de cambios para cuantificar el cambio porcentual de áreas en los periodos de tiempo evaluados, para ello se delimitó el área de estudio, correspondiente a la localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.

En la *Figura 4* se muestra la ortoimagen correspondiente al año 2004, recortada con base en el límite de la localidad. Esta imagen presenta una combinación de bandas en color verdadero, lo que permite una mejor visualización de las coberturas, permitiendo apreciar el nivel de detalle correspondiente a la resolución espacial disponible para este año.

Figura 4

Recorte de ortofotografía 2004 - localidad de Suba.



Nota: Ortoimagen correspondiente al año 2004, recortada al límite de la localidad de suba.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Así mismo en la *Figura 5* se presenta el recorte realizado a la ortoimagen del año 2009, con su color verdadero en la cual se puede evidenciar una mejor resolución a diferencia de la imagen del 2004, mejorando la capacidad de visualización de algunos elementos en la imagen como las zonas urbanas.

Figura 5

Recorte de ortofotografía 2009 - localidad de Suba.



Nota: Ortoimagen correspondiente al año 2009, recortada al límite de la localidad de suba.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Por último, en la *Figura 6* se presenta el recorte realizado a la ortoimagen del año 2024, debido a su resolución y la combinación en color verdadero, presenta tonalidades más vivas que permiten identificar con mayor facilidad algunas coberturas, especialmente las zonas construidas y áreas abiertas. Sin embargo, en el caso de la cobertura vegetal, se observa una alta similitud espectral con las vías, lo que genera confusión entre estas clases al momento de realizar la clasificación supervisada.

Figura 6

Recorte de ortofotografía 2024 - localidad de Suba.



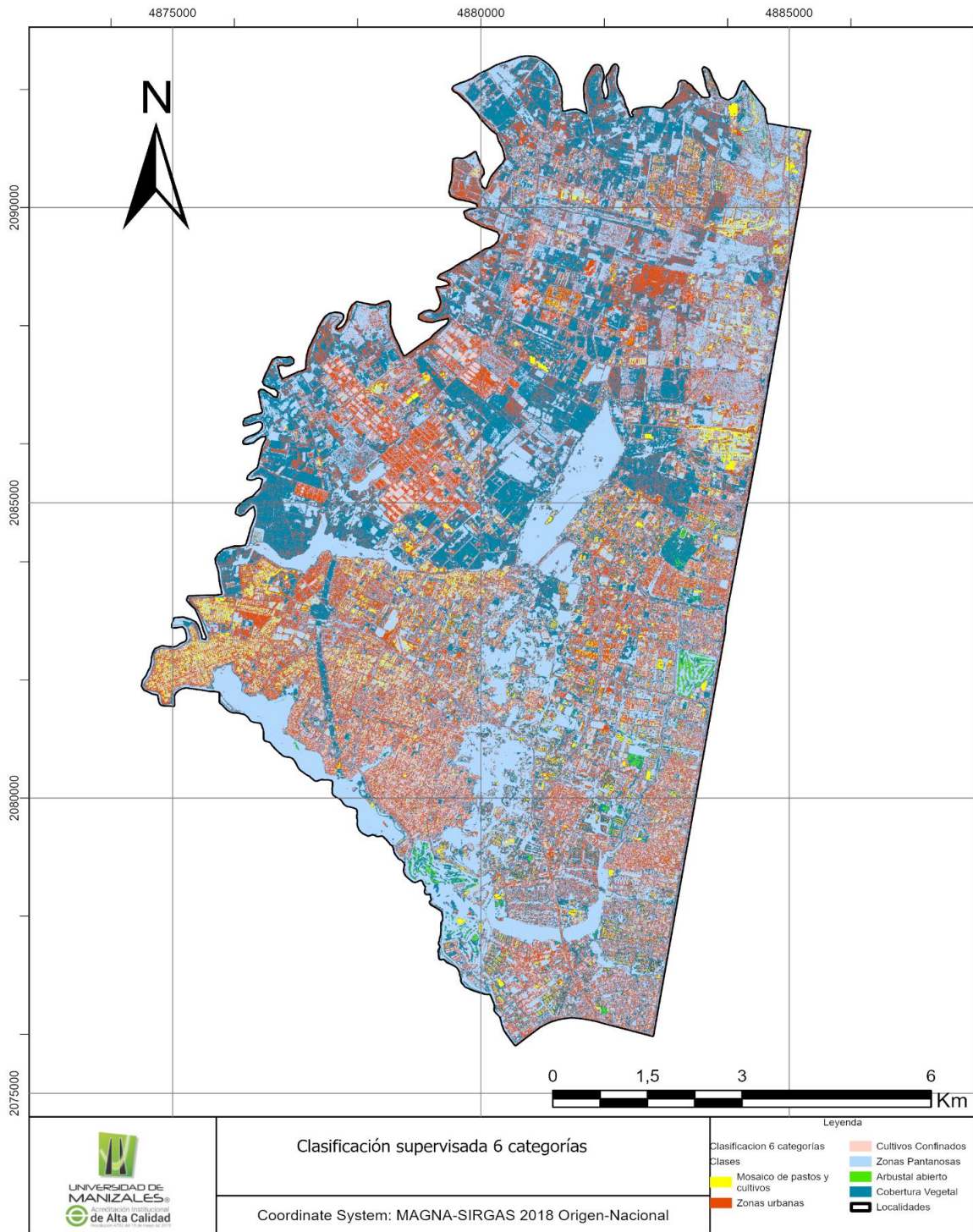
Nota: Ortoimagen correspondiente al año 2024, recortada al límite de la localidad de suba.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

El resultado de la clasificación de prueba, realizada a la ortofotografía del año 2024 permitió evidenciar que las seis (6) categorías establecidas inicialmente, no era útil para el estudio, ya que la similitud de los píxeles entre algunas de las categorías establecidas no permitió generar resultados acertados y funcionales, lo cual sería un inconveniente especialmente en las ortofotografías de menor resolución, es decir en la de los años 2004 y 2024. En la *Figura 7* se presenta dicha clasificación, en la cual las categorías corresponden a Mosaico de pastos y cultivos (1), Zonas urbanizadas (2), Cultivos confinados (3), Zonas pantanosas (4), Arbustal abierto (5) y Cobertura vegetal (6); y donde debido a la similitud entre algunas categorías, como es el caso de Arbustal abierto con Zonas pantanosas o Cultivos confinados con Zonas urbanizadas, no fueron clasificadas correctamente.

Figura 7

Resultado clasificación supervisada 6 coberturas



Nota: Resultado clasificación supervisada de 6 categorías, aplicada a ortofotografía del 2024.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

En la *Tabla 12* se consignan los resultados correspondientes al área de cada una de las coberturas analizadas durante el periodo evaluado, así como el porcentaje que representa cada una con respecto al área total de la localidad de Suba.

Tabla 12

Coberturas del suelo en Suba por superficie y porcentaje (2004-20024)

Clasificación	2004 (ha)	2004 (%)	2009 (ha)	2009 (%)	2024 (ha)	2024 (%)
Zonas Urbanas	4505,86	44,90%	4563,51	45,47%	5058,32	50,40%
Mosaico de pastos y cultivos	3023,02	30,12%	2975,13	29,65%	3028,13	30,17%
Cobertura Vegetal	2506,58	24,98%	2496,82	24,88%	1949,00	19,42%

Nota: Cantidad de hectáreas por clase y porcentaje respecto al área total de la localidad de Suba.

A continuación, se muestran los mapas temáticos de clasificación de cobertura del suelo, en el área de estudio correspondiente a los años 2004, 2009 y 2024, en los cuales se evidencia que la clasificación de cobertura predominante para los tres años evaluados es “zonas urbanas”, la cual representa aproximadamente el 44,9%, 45,47% y 50,4% de las 10.035 hectáreas de la localidad de Suba para los años 2004, 2009 y 2024 respectivamente.

Por lo tanto, como se mencionó previamente en la metodología, la clasificación supervisada se efectuó para las tres ortofotografías seleccionando únicamente 3 categorías, correspondientes a: zonas urbanas, mosaico de pastos y cultivos y cobertura vegetal.

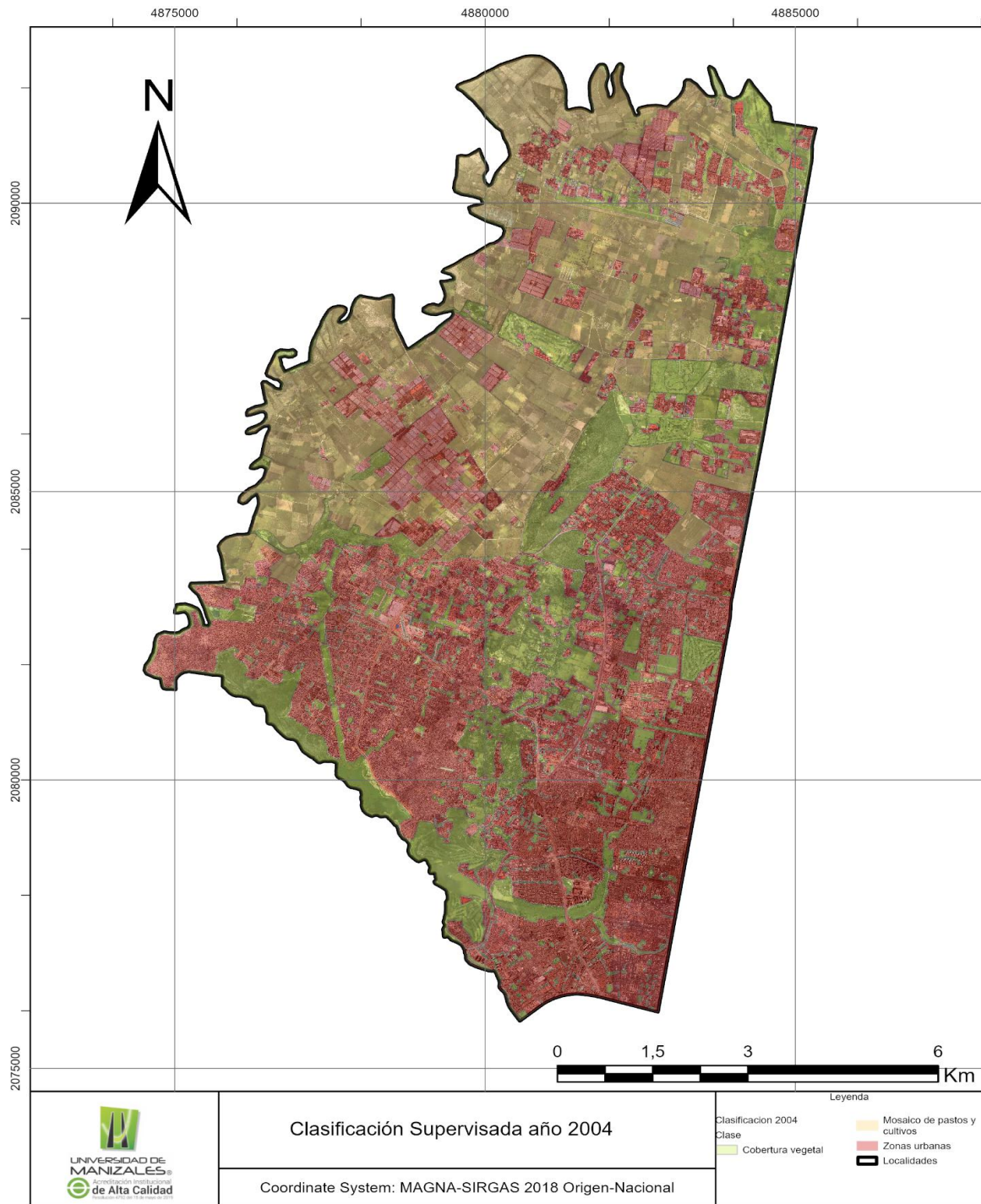
En la *Figura 8* se presenta el resultado de la clasificación supervisada aplicada a la ortoimagen correspondiente al año 2004, mediante la cual se logró identificar las tres clases de coberturas agrupadas para este proyecto: zonas urbanas (rojo), mosaico de pastos y cultivos

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

(amarillo) y cobertura vegetal (verde). Para este año se observa una concentración urbana dominante en el sector sur y oriental del área de estudio, mientras que hacia el norte y occidente predomina la matriz agropecuaria interrumpida por parches urbanos dispersos. La cobertura vegetal aparece en franjas periféricas y corredores internos aislados, evidenciando un paisaje aún con presencia de elementos rurales y remanentes naturales.

Figura 8

Clasificación supervisada de coberturas en Suba con imagen 2004



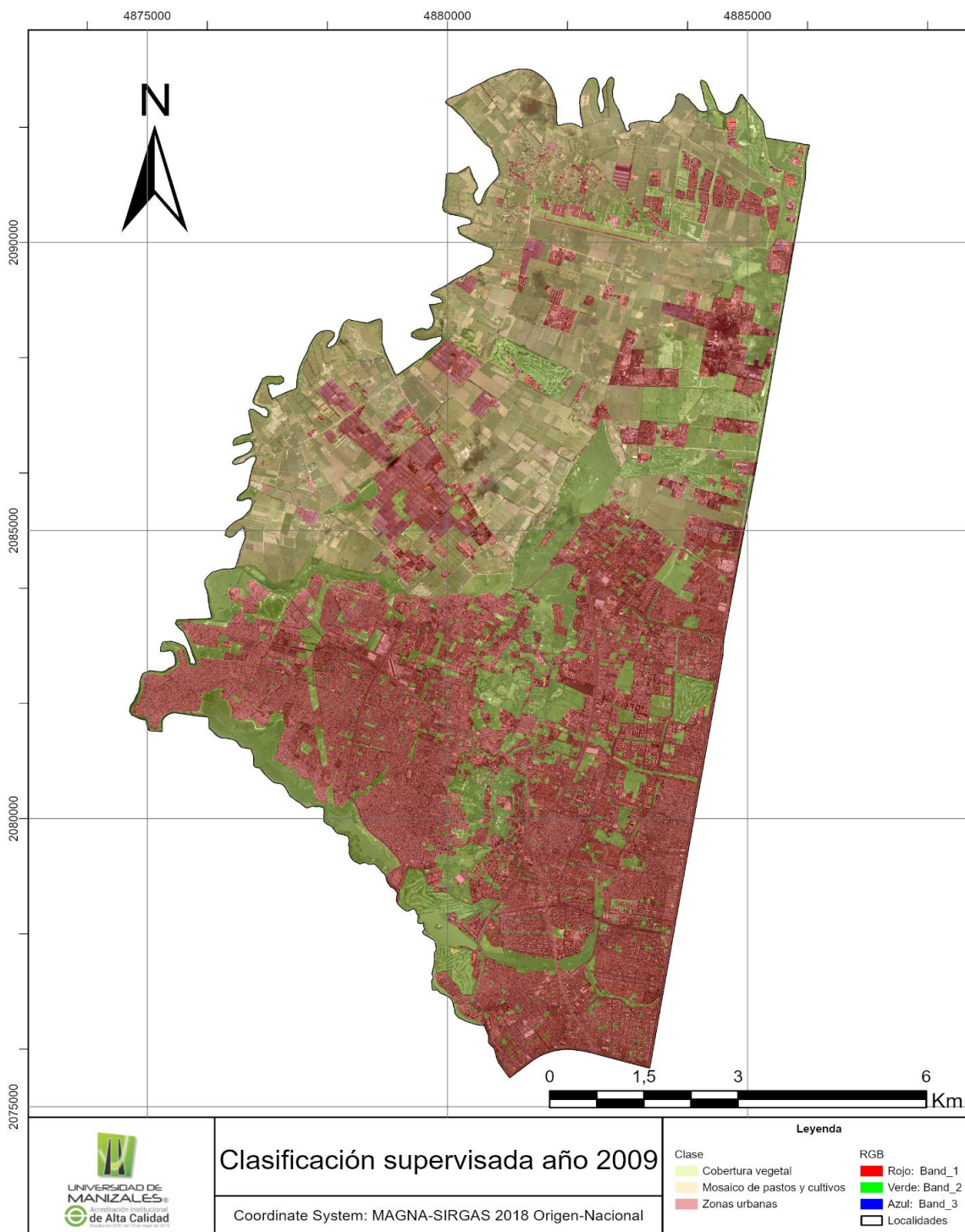
Nota: Clasificación generada con ortoimagen 2004, empleando tres clases de coberturas: Zonas urbanas, Mosaico de pastos y cultivos y Cobertura vegetal.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

En la *Figura 9* se presenta el resultado de la clasificación supervisada aplicada a la ortoimagen correspondiente al año 2009, en la cual se observa una mayor área de la zona urbana respecto a la clasificación de cobertura vegetal registrada en 2004. La mancha urbana se expande y densifica hacia el centro del polígono y avanza sobre sectores previamente agropecuarios, generando una reducción y fragmentación relativa de los parches de cobertura vegetal

Figura 9

Clasificación supervisada de coberturas en Suba con imagen 2009



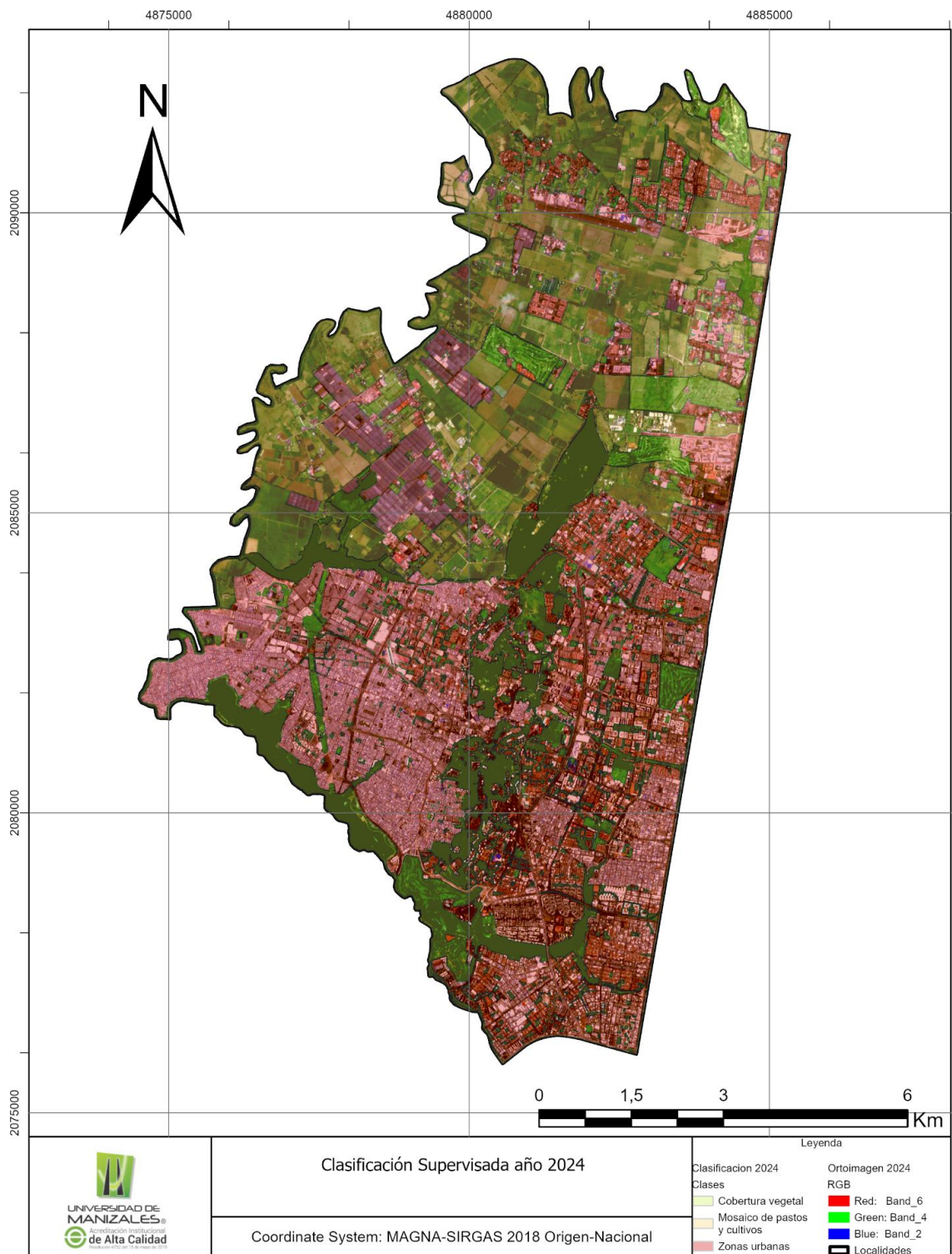
ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Nota: Clasificación generada con ortoimagen 2009, empleando tres clases de coberturas: Zonas urbanas, Mosaico de pastos y cultivos y Cobertura vegetal.

En la *Figura 10* se muestra la clasificación para la ortoimagen de 2024. Se ve que la ciudad sigue creciendo y ocupando zonas del sector oriente y sur de la localidad. Muchas zonas que en 2009 todavía eran potreros o cultivos ahora aparecen construidas. La vegetación que queda está sobre todo en los bordes especialmente al occidente y suroccidente y en zonas aisladas dentro del área de estudio.

Figura 10

Clasificación supervisada de coberturas en Suba con imagen 2024



ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

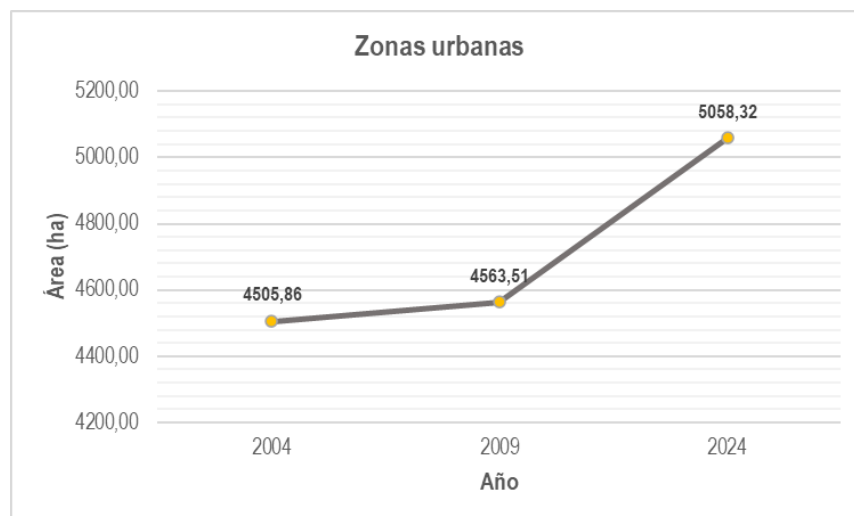
Nota: Clasificación generada con ortoimagen 2004, empleando tres clases de coberturas: Zonas urbanas, Mosaico de pastos y cultivos y Cobertura vegetal.

A continuación, se muestra el comportamiento de las tres clases seleccionadas, a lo largo del período de tiempo estudiado.

Con respecto a las zonas urbanas, en la *Figura 11* se evidencia que su comportamiento fue creciente, ya que, pasó de representar el 44,9% (4505,86 ha) del área total de la localidad de Suba en el año 2004 al 45,47% (4563,51 ha) en el año 2009, lo que corresponde a un incremento promedio de 11,53 ha/año; por otro lado, en el año 2024 esta categoría representó el 50,4% (5058,32 ha) de la superficie estudiada, es decir que, entre 2009 y 2024 el incremento promedio fue de 32,99 ha/año. Finalmente, entre los años 2004 y 2024 el incremento total del área representada por las zonas urbanas fue de 552,46 ha, lo que corresponde a un incremento del 12,26%.

Figura 11

Tendencia del área urbana en Suba entre 2004 y 2024



Nota: Incremento del área urbana en Suba en el periodo analizado.

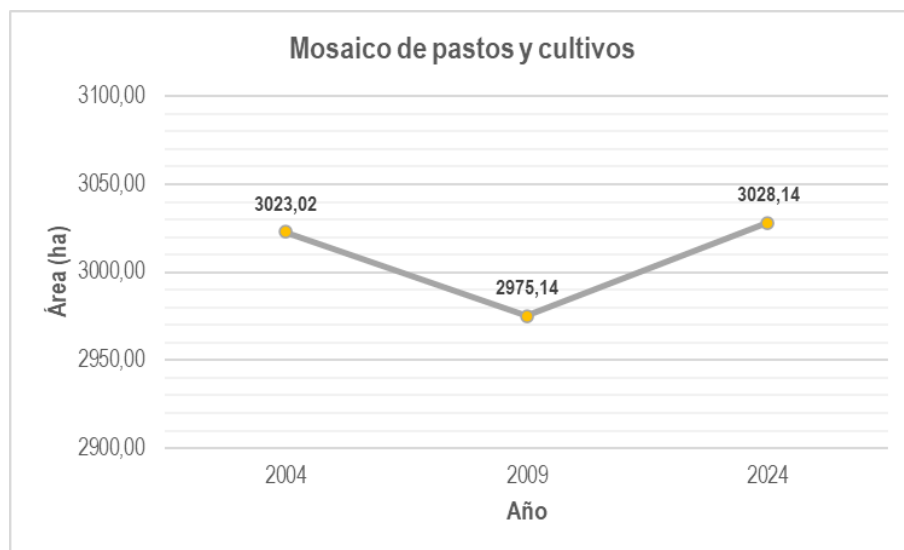
ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Ahora bien, en cuanto a la categoría de mosaicos y cultivos, en la *Figura 12* se observa que el cambio presentado no fue lineal, sino que, primero se presentó un decrecimiento y luego un crecimiento, así las cosas, el área representada por esta categoría en el año 2004 correspondió al 30,12% (3023,02 ha) del área total estudiada, mientras que en el año 2009 correspondió al 29,65% (2975,14 ha), es decir que 47,89 ha pasaron de ser mosaicos y cultivos a otra categoría de las establecidas. Luego en el año 2024 su porcentaje de representación volvió a incrementar, esta vez equivaliendo al 30,17% (3028,14 ha), lo que indica un promedio de aumento del 3,53 ha/año entre el 2009 y el 2024.

Lo anterior indica qué entre los años 2004 y 2024 si hubo un crecimiento en el área de pastos y cultivos, sin embargo, y debido al comportamiento fluctuante, este incremento fue de tan solo el 0,17% (5,11 ha).

Figura 12

Cambio del área de Mosaicos de pastos y cultivos en Suba (2004-2024)



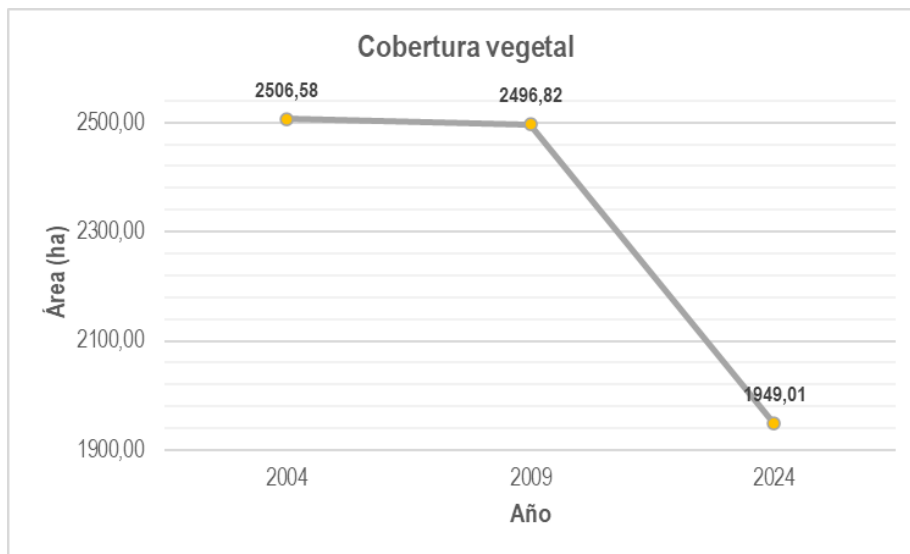
Nota: La cobertura de mosaicos de pastos y cultivos mostró una tendencia cambiante durante el periodo analizado, con una leve disminución en el 2009 y posterior recuperación para el 2024.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Por último, la categoría de cobertura vegetal presentó una tendencia decreciente durante el periodo analizado *Figura 13*. Entre los años 2004 y 2009 el área que representó esta cobertura en la localidad de Suba se mantuvo casi constante, sin embargo, hubo una disminución del 0,39% (9,76 ha) lo cual significa un promedio del 1,95 ha/año; sin embargo, entre los años 2009 y 2024 la disminución fue del 21,94%, es decir, 36,52 ha/año aproximadamente. Finalmente, la disminución de la cobertura vegetal en la zona de estudio para el año 2024 con respecto al año 2004 fue del 22,24% (557,58 ha), pasando de representar el 24,98% (2506,58 ha) del área total de la localidad de Suba a representar el 19,42% (1949,01 ha).

Figura 13

Cambio del área de la cobertura vegetal en Suba (2004-2024)



Nota: La cobertura vegetal en la localidad de Suba ha disminuido en términos de hectáreas durante los años 2004, 2009 y 2024.

Los resultados del análisis de detección de cambios entre los tres (3) periodos evaluados evidencian que, entre el 2004 y el 2024, el 2,26% del área total de la localidad pasó de ser cobertura vegetal a ser mosaicos de pastos y cultivos; el 3,38% pasó de mosaicos de pastos y

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

cultivos a zonas urbanas; y finalmente un 6,25% de cobertura vegetal se perdió, convirtiéndose en zonas urbanas.

Para entender el cambio en la cobertura del suelo en la localidad nos podemos remitir al modelo simplista y lógico, en el cual se indica que el incremento de la población es el responsable directo de la disminución de la cobertura vegetal y del incremento en las áreas de cultivos y pastos, sin embargo, en las dos (2) últimas décadas las áreas de mosaicos de pastos y cultivos no varió significativamente (3023,02 ha en 2004 y 3028,13 ha en el 2024).

Tabla 13

Matriz de cambio de coberturas 2004-2009 en la localidad de Suba

		Año 2009					
		Zonas urbanas	%	Mosaico de pastos y cultivos	%	Cobertura vegetal	%
Año 2004	Zonas urbanas	4079,45	20,28	249,24	2,48	0	0
	Mosaico de pastos y cultivos	116,83	1,16	2624,53	26,15	285,84	2,85
	Cobertura vegetal	369,71	3,68	101,35	1,01	2035,51	40,65

Nota: Se presentan los cambios de cobertura entre los años 2004 y 2009

En la *Tabla 13* se observa que en el periodo comprendido entre 2004 y 2009, los cambios más representativos fueron el cambio de cobertura vegetal a zonas urbanas con un 3,68%, seguido del cambio de mosaico de pastos y cultivos a cobertura vegetal con un 2,85%; si bien este último cambio parece un poco inusual, se debe principalmente a una consecuencia producto de la urbanización, ya que áreas que anteriormente eran destinadas al cultivo y pastoreo, fueron urbanizadas conservando áreas verdes circundantes, y por último el cambio de zonas urbanas a mosaicos de pastos y cultivos y viceversa con un 2,48% y 1,16% respectivamente, productos de la dinámica de los cultivos confinados transitorios.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Tabla 14

Matriz de cambio de coberturas 2004-2024 en la localidad de Suba

		Año 2024					
		Zonas urbanas	%	Mosaico de pastos y cultivos	%	Cobertura vegetal	%
Año 2004	Zonas urbanas	4094,87	40,80	260	2,59	0	0
	Mosaico de pastos y cultivos	338,78	3,38	2552,95	25,44	146,56	1,46
	Cobertura vegetal	627,38	6,25	227,06	2,26	1653,30	16,47

Nota: Se presentan los cambios de cobertura entre los años 2004 y 2024

Entre 2004 y 2024, el área urbana siguió creciendo mientras los mosaicos de pastos y cultivos apenas variaron (3 023 ha vs. 3 028 ha); en ese periodo, el 2,26 % de la vegetación se transformó en mosaicos, el 3,38 % de esos mosaicos pasó a zonas urbanas y el 6,25 % de la cobertura vegetal fue reemplazado por suelo urbano (ver *Tabla 14*)

Tabla 15

Matriz de cambio de coberturas 2009-2024 en la localidad de Suba

		Año 2024					
		Zonas urbanas	%	Mosaico de pastos y cultivos	%	Cobertura vegetal	%
Año 2009	Zonas urbanas	4160,96	41,46	161,99	1,61	0	0
	Mosaico de pastos y cultivos	290,84	2,90	2570,45	25,61	121,87	1,21
	Cobertura vegetal	606,02	6,04	306,42	3,05	1586,96	15,81

Nota: Se presentan los cambios de cobertura entre los años 2009 y 2024

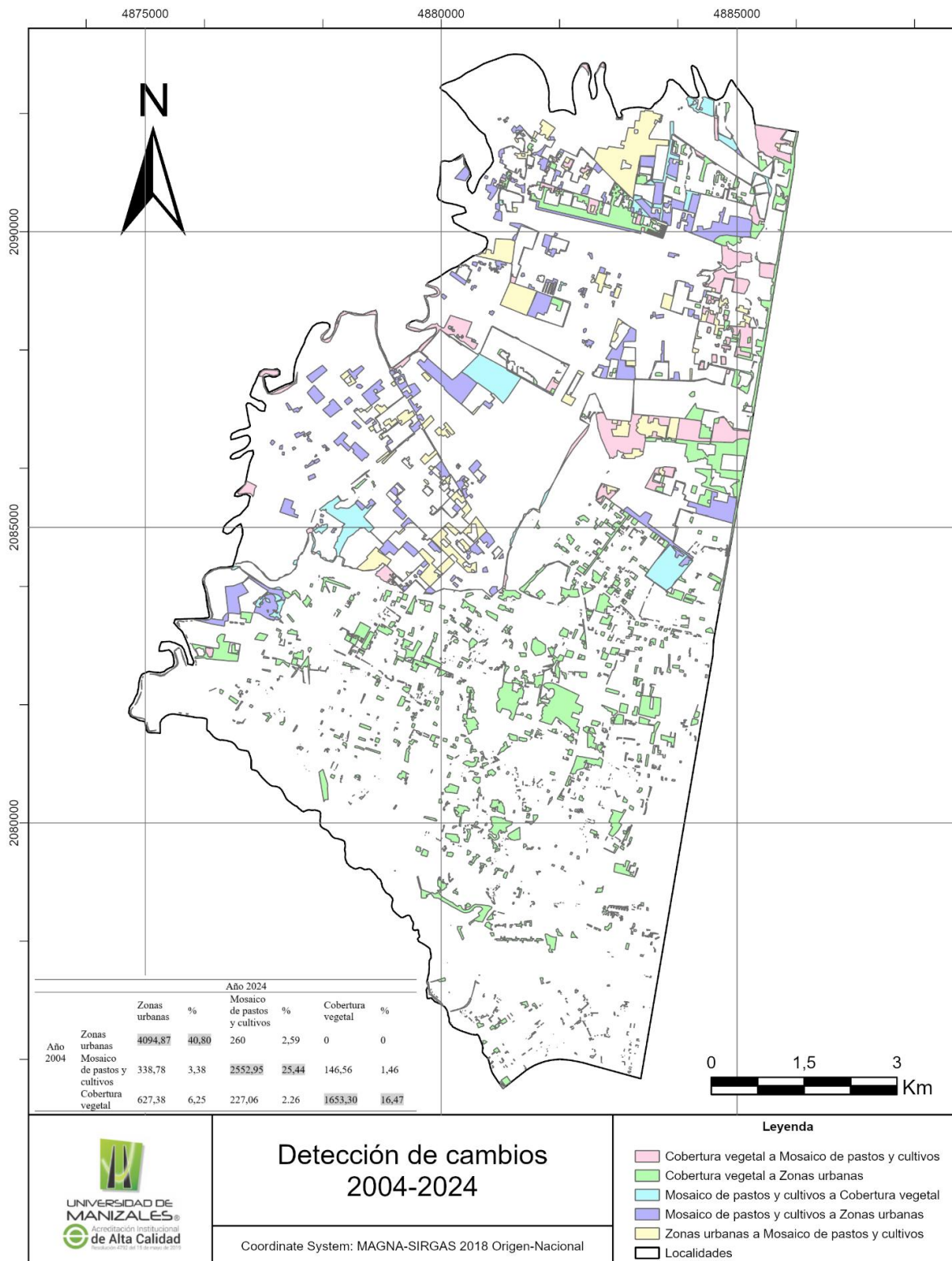
ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Finalmente, durante el período comprendido entre el 2009 y 2024 *Tabla 15*, los cambios fueron mayores con relación al periodo antes descrito, con un 6,04% de conversión de cobertura vegetal a zonas urbanas, seguido del cambio de cobertura vegetal a mosaicos de pastos y cultivos con un 3,05%, y, por último, el cambio de mosaico de pastos y cultivos a zonas urbanas con un 2,90%.

A continuación, se muestran los mapas de cambios en los periodos comprendidos entre el 2004 y 2024, 2004 y 2009 y 2009 y 2024, en los cuales se identifican las variaciones más representativas entre las diferentes coberturas.

Figura 14

Mapa de detección de cambios de coberturas del suelo correspondiente al periodo 2004-2024



**Detección de cambios
2004-2024**

Coordinate System: MAGNA-SIRGAS 2018 Origen-Nacional

Leyenda

- Cobertura vegetal a Mosaico de pastos y cultivos
- Cobertura vegetal a Zonas urbanas
- Mosaico de pastos y cultivos a Cobertura vegetal
- Mosaico de pastos y cultivos a Zonas urbanas
- Zonas urbanas a Mosaico de pastos y cultivos
- Localidades

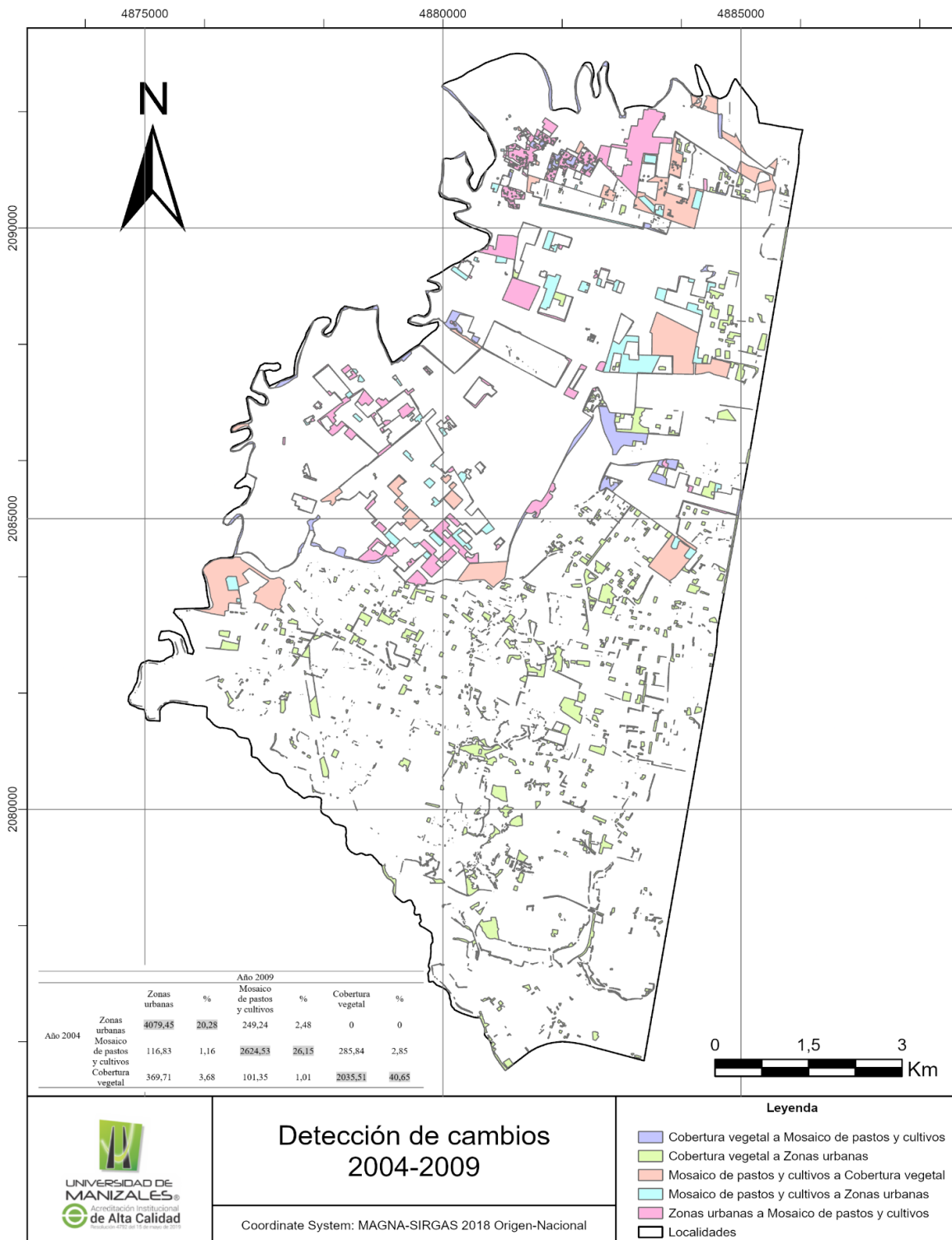
ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Nota: Cambios en la cobertura vegetal del suelo en Suba entre 2004 y 2024, destacando la expansión urbana y la pérdida de cobertura vegetal.

En el periodo 2004–2024 (*Figura 14*) se aprecia principalmente la expansión urbana hacia el sureste de Suba, con grandes parches de vegetación convertida a uso urbano. Los mosaicos de pastos y cultivos aparecen como franjas estables, confirmando que la pérdida de cobertura vegetal se focaliza en las áreas de mayor presión poblacional.

Figura 15

Mapa de detección de cambios de coberturas del suelo correspondiente al periodo 2004-2009.



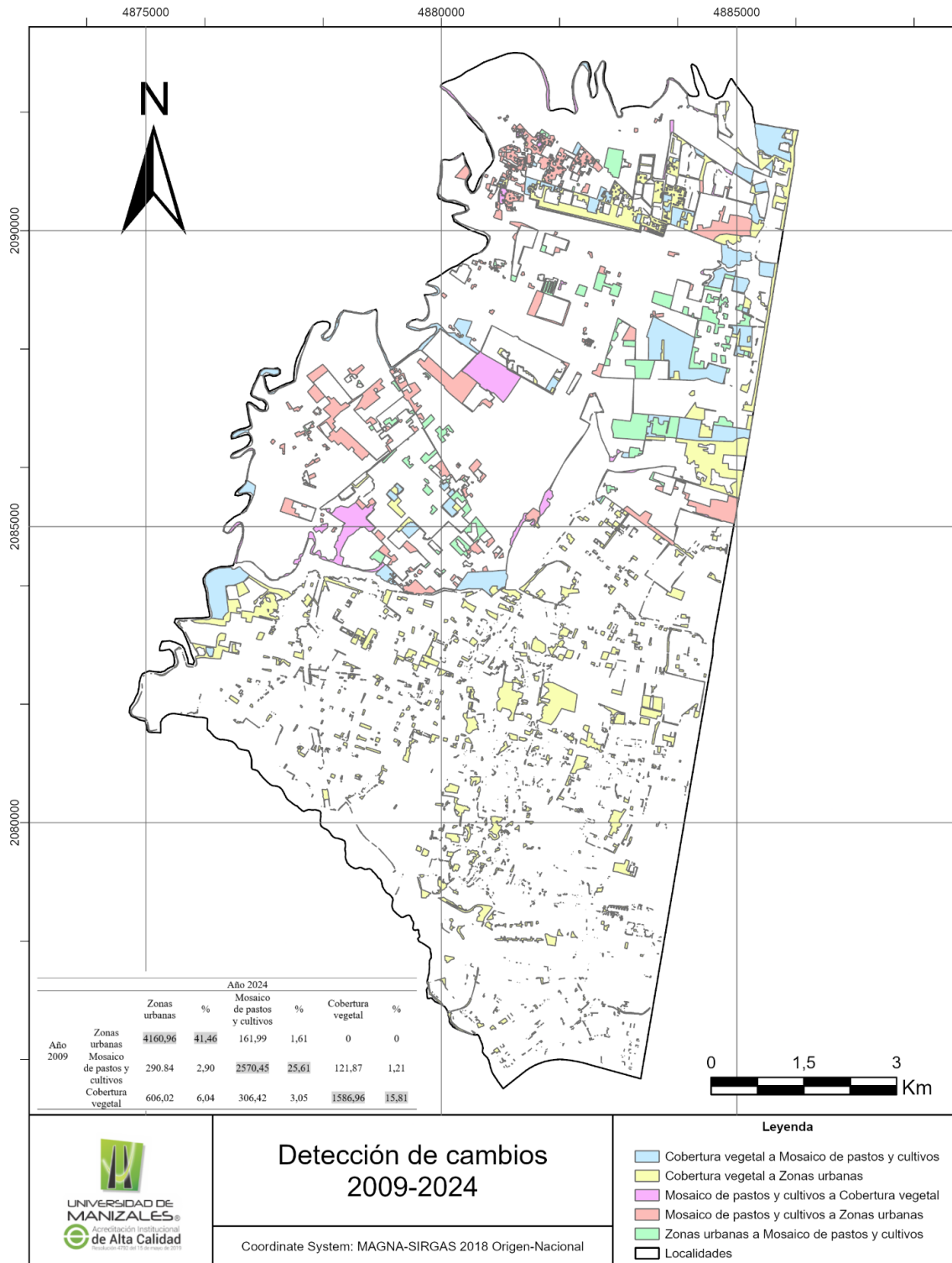
ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Nota: Cambios en la cobertura vegetal del suelo en Suba entre 2004 y 2009, se observan transición progresiva principalmente a zonas Urbanas.

Entre 2004 y 2009, el avance urbano en Suba se concentró sobre todo en el norte y occidente de la localidad, donde amplios parches de vegetación quedaron reemplazados por nuevas zonas urbanas. (Ver *Figura 15*).

Figura 16

Mapa de detección de cambios de coberturas del suelo correspondiente al periodo 2004-2009



ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Nota: Cambios en la cobertura vegetal del suelo en Suba entre 2009 y 2024, se observan un aumento en las zonas urbanas.

Durante el periodo 2009–2024 (*Figura 16*), la consolidación urbana se intensifica en el centro de la localidad, reduciendo las coberturas de pastos y cultivos alrededor de sectores residenciales.

Evaluación de la precisión de la clasificación supervisada

Garantizar la precisión de la clasificación supervisada, es crucial si se busca asegurar la fiabilidad y confiabilidad de los mapas de cobertura generados y el análisis de cambio producto del resultado de dicha clasificación. Evaluar la precisión hacer parte de la medida fundamental de la fiabilidad del presente estudio, pese a que con el uso ortofotografías de alta resolución se gane un buen nivel de detalle, aparecen nuevos retos como la variabilidad entre clases y la presencia de sombras, lo que hace necesario que la evaluación de precisión sea más rigurosa y robusta para el análisis de los resultados.

La confusión espectral es un error común en las clasificaciones supervisadas, por la resolución de las imágenes utilizadas, al ser de alta resolución pueden introducir una mayor variabilidad espectral dentro de una misma clase (Palacio & Luna, 1994) y efectos de sombras significativos, lo que lleva a una clasificación errónea. Por lo anterior se incluyen métricas por clase que permiten dilucidar los aciertos y desaciertos de la clasificación, impactando directamente en la confianza de los mapas de cambios generados.

Matriz de confusión

La *Tabla 16* presenta la matriz de confusión para la clasificación supervisada realizada a la ortofotografía del 2004, esta matriz muestra claramente la relación entre los datos de referencia y los datos clasificados para cada clase, en donde las filas representan la clase de referencia real y

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

las columnas representan las clases clasificadas para que finalmente los elementos de la diagonal indiquen el número de píxeles correctamente clasificados para cada categoría. (Barni & Ratto, 1994) Para la clase 1 “zonas urbanas” la referencia real fue de 3837 píxeles mientras que para la clase clasificada fue de 3971 píxeles, finalmente para la “zona urbana” el número de píxeles clasificados correctamente fue de 3809; en la clase 2 “mosaico de pastos y cultivos” la referencia real fue de 1760 píxeles mientras que para la clase clasificada fue de 1747 píxeles, finalmente para los “mosaicos de pastos y cultivos” el número de píxeles clasificados correctamente fue de 1637 y en la clase 3 “cobertura vegetal” la referencia real fue de 1716 píxeles mientras que para la clase clasificada fue de 1595 píxeles, finalmente para la “cobertura vegetal” el número de píxeles clasificados correctamente fue de 1554 píxeles.

Se reporta una exactitud global (Overall Accuracy) de 95,72%, lo cual representa el porcentaje total de píxeles correctamente clasificados respecto al número total de píxeles de referencia. (Humboldt State University, 2019) Adicionalmente el coeficiente Kappa de 0,92 refleja un indicativo de alta calidad respecto a la concordancia entre la clasificación y la verdad de campo.

Para cada una de las coberturas se presentan dos variables adicionales, la precisión del productor (Producer's Accuracy) y la precisión del usuario (User's Accuracy). La precisión del productor representa la probabilidad de que un píxel de verdad de campo de una clase específica haya sido clasificado correctamente, estando relacionada con los errores de omisión, mientras que la precisión del usuario representa la probabilidad de que un píxel clasificado en una clase dada realmente pertenezca a esa clase, estando relacionada con los errores de comisión. (Humboldt State University, 2019) Para la clase 1 “zonas urbanas” la P_Accuracy es de 0,95 y la U_Accuracy de 0,99, lo que indica que gran parte de la zona urbana real fue detectada y así

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

mismo un mínimo de áreas que no eran zonas urbanas fueron clasificadas erróneamente como zona urbana.

Para la clase 2 “mosaicos de pastos y cultivos” la P_Accuracy es de 0,93 y la U_Accuracy de 0,93, lo que indica que el 93% de los mosaicos de pastos y cultivos reales fueron detectados, sin embargo, aproximadamente un 7% de áreas que no eran “mosaicos” fueron clasificadas erróneamente como mosaicos de pastos y cultivos; para la clase 3 “cobertura vegetal” la P_Accuracy es de 0,97 y la U_Accuracy de 0,90, lo que indica que gran parte de la cobertura vegetal real fue detectada, y aproximadamente un 10% de áreas que no era “cobertura vegetal” fue clasificada erróneamente como cobertura vegetal.

Finalmente, se interpretan brevemente los resultados de precisión, identificando qué clases fueron clasificadas con alta exactitud y cuáles presentaron desafíos, detallando las clases con errores de omisión y/o comisión significativos.

Tabla 16

Matriz de confusión para la clasificación supervisada realizada a la ortofotografía del 2004

Clase de Referencia real / Clase Clasificada	Clase 1 – Zonas urbanas	Clase 2 – Mosaicos de pastos y cultivos	Clase 3 – Cobertura vegetal	Total, Clasificado	Precisión del Usuario (%)	Error de Comisión (%)
Clase 1 – Zonas urbanas	3809	22	6	3837	99,27	0,73
Clase 2 – Mosaicos de pastos y cultivos	88	1637	35	1760	93,01	6,99
Clase 3 – Cobertura vegetal	74	88	1554	1716	90,55	9,45
Total, Referencia	3971	1747	1595	7313	-	-
Precisión del Productor (%)	95,92	93,70	97,42	-	-	-
Error de Omisión (%)	4,08	6,30	2,58	-	-	-

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Nota: Se presenta la precisión de la clasificación supervisada para el año 2004, se observa un buen nivel de confiabilidad en la asignación de las coberturas evaluadas.

Métricas globales de precisión

- Exactitud global (Overall Accuracy): 95,72%
- Coeficiente Kappa: 0,92

La *Tabla 17* presenta la matriz de confusión para la clasificación supervisada realizada a la ortofotografía del 2009, para la clase 1 “zonas urbanas” la referencia real fue de 2247 píxeles mientras que para la clase clasificada fue de 2376 píxeles, finalmente para la “zona urbana” el número de píxeles clasificados correctamente fue de 2203; en la clase 2 “mosaico de pastos y cultivos” la referencia real fue de 1198 píxeles mientras que para la clase clasificada fue de 1033 píxeles, finalmente para los “mosaicos de pastos y cultivos” el número de píxeles clasificados correctamente fue de 896 y en la clase 3 “cobertura vegetal” la referencia real fue de 1717 píxeles mientras que para la clase clasificada fue de 1753 píxeles, finalmente para la “cobertura vegetal” el número de píxeles clasificados correctamente fue de 1615 píxeles.

Se reporta una exactitud global (Overall Accuracy) de 91,32%, lo cual representa el porcentaje total de píxeles correctamente clasificados respecto al número total de píxeles de referencia.

(Humboldt State University, 2019) Adicionalmente el coeficiente Kappa de 0,86 refleja un indicativo de alta calidad respecto a la concordancia entre la clasificación y la verdad de campo.

Para cada una de las coberturas se presentan dos variables adicionales, la precisión del productor (Producer's Accuracy) y la precisión del usuario (User's Accuracy). Para la clase 1 “zonas urbanas” la P_Accuracy es de 0,92 y la U_Accuracy de 0,98, lo que indica que la mayoría de la zona urbana real fue detectada y así mismo pocas áreas que no eran zonas urbanas fueron clasificadas erróneamente como zona urbana.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Para la clase 2 “mosaicos de pastos y cultivos” la P_Accuracy es de 0,86 y la U_Accuracy de 0,74, lo que indica que el 86% de los mosaicos de pastos y cultivos reales fueron detectados, sin embargo, aproximadamente un 25% de áreas que no eran “mosaicos” fueron clasificadas erróneamente como mosaicos de pastos y cultivos; para la clase 3 “cobertura vegetal” la P_Accuracy es de 0,92 y la U_Accuracy de 0,94, lo que indica que gran parte de la cobertura vegetal real fue detectada, y aproximadamente un 6% de áreas que no era “cobertura vegetal” fue clasificada erróneamente como cobertura vegetal.

Finalmente, se interpretan brevemente los resultados de precisión, identificando qué clases fueron clasificadas con alta exactitud y cuáles presentaron desafíos, detallando las clases con errores de omisión y/o comisión significativos.

Tabla 17

Matriz de confusión para la clasificación supervisada realizada a la ortofotografía del 2009

Clase de Referencia real / Clase Clasificada	Clase 1 – Zonas urbanas	Clase 2 – Mosaicos de pastos y cultivos	Clase 3 – Cobertura vegetal	Total, Clasificado	Precisión del Usuario (%)	Error de Comisión (%)
Clase 1 – Zonas urbanas	2203	41	3	2247	98,04	1,96
Clase 2 – Mosaicos de pastos y cultivos	167	896	135	1198	74,79	25,21
Clase 3 – Cobertura vegetal	6	96	1615	1717	94,05	5,95
Total, Referencia	2376	1033	1753	5162	-	-
Precisión del Productor (%)	92,71	86,73	92,12	-	-	-
Error de Omisión (%)	7,29	13,27	7,88	-	-	-

Nota: Se presenta la precisión de la clasificación supervisada para el año 2009, se observa un buen nivel de confiabilidad en la asignación de las coberturas evaluadas.

Métricas globales de precisión

- Exactitud global (Overall Accuracy): 91,32%
- Coeficiente Kappa: 0,86

Finalmente, la *Tabla 18* presenta la matriz de confusión para la clasificación supervisada realizada a la ortofotografía del 2024. En este caso, para la clase 1 “zonas urbanas” la referencia real fue de 2576 píxeles mientras que para la clase clasificada fue de 2878 píxeles y el número de píxeles clasificados correctamente fue de 2569; en la clase 2 “mosaico de pastos y cultivos” la referencia real fue de 969 píxeles mientras que para la clase clasificada fue de 771 píxeles y el número de píxeles clasificados correctamente fue de 559; finalmente, en la clase 3 “cobertura vegetal” la referencia real fue de 1858 píxeles mientras que para la clase clasificada fue de 1754 píxeles y el número de píxeles clasificados correctamente fue de 1641.

Se aprecia, un buen desempeño general del modelo, con una precisión global del 88.27%, lo que significa que este porcentaje de píxeles fueron correctamente clasificados en sus respectivas clases. Así mismo, el índice Kappa es de 0.8073, es decir, que hubo una buena concordancia entre la clasificación supervisada y los datos de referencia.

Ahora, con respecto a la precisión del productor (P_Accuracy) y la precisión del usuario (U_Accuracy), para la clase 1 “zonas urbanas” son de 0,89 y 0,99 respectivamente, lo que indica que la gran parte de la zona urbana real fue detectada y solo el 1% de áreas que no eran zonas urbanas fueron clasificadas erróneamente como zona urbana.

Para la clase 2 “mosaicos de pastos y cultivos” la P_Accuracy es de 0,73 y la U_Accuracy de 0,58, lo que indica que aproximadamente el 27% de los mosaicos de pastos y cultivos reales

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

no fueron detectados, mientras que el 42% de áreas que no eran “mosaicos” fueron clasificadas erróneamente como mosaicos de pastos y cultivos

Para la clase 3 “cobertura vegetal” la P_Accuracy es de 0,94 y la U_Accuracy de 0,88, lo que indica que gran parte de la cobertura vegetal real fue detectada, mientras que un 12% de áreas que no era “cobertura vegetal” fue clasificada erróneamente como cobertura vegetal.

Finalmente, se interpretan brevemente los resultados de precisión, identificando qué clases fueron clasificadas con alta exactitud y cuáles presentaron desafíos, detallando las clases con errores de omisión y/o comisión significativos.

Tabla 18

Matriz de confusión para la clasificación supervisada realizada a la ortofotografía del 2024

Clase de Referencia real / Clase Clasificada	Clase 1 – Zonas urbanas	Clase 2 – Mosaicos de pastos y cultivos	Clase 3 – Cobertura vegetal	Total, Clasificado	Precisión del Usuario (%)	Error de Comisión (%)
Clase 1 – Zonas urbanas	2569	2	5	2576	99,73	0,27
Clase 2 – Mosaicos de pastos y cultivos	302	559	108	969	57,69	42,31
Clase 3 – Cobertura vegetal	7	210	1641	1858	88,27	11,73
Total, Referencia	2878	771	1754	5403	-	-
Precisión del Productor (%)	89,26	72,5	93,56	-	-	-
Error de Omisión (%)	10,74	27,5	6,44	-	-	-

Nota: Se presenta la precisión de la clasificación supervisada para el año 2024, se observa un buen nivel de confiabilidad en la asignación de las coberturas evaluadas.

Métricas globales de precisión

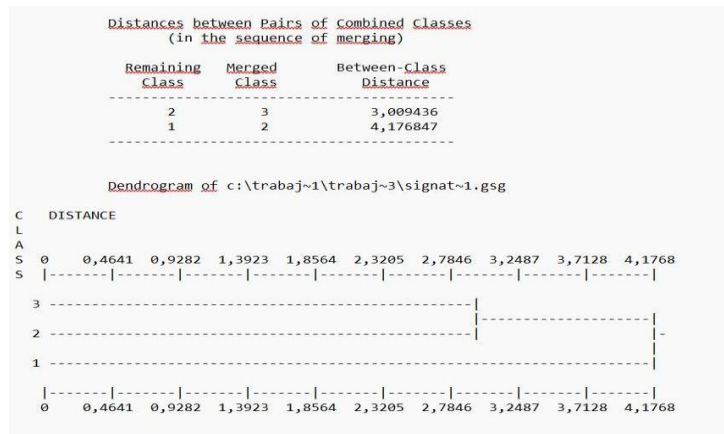
- Exactitud global (Overall Accuracy): 88,27%
- Coeficiente Kappa: 0,807

Dendrograma

Con el fin de evaluar la similitud entre las clases temáticas resultantes de la clasificación supervisada, se generaron dendrogramas para cada una de las ortofotografías analizadas (2004, 2009 y 2024). Estas representaciones permiten identificar qué clases presentan mayor cercanía multivariada, lo cual es clave para comprender las transiciones o permanencias en las coberturas del suelo a lo largo del tiempo.

Figura 17

Dendrograma resultante de la clasificación supervisada del año 2004.



Nota: Se observa la similitud entre las clases temáticas generadas a partir de la ortofotografía de 2004.

Para el caso de la clasificación supervisada del año 2004, la *Figura 17* permite apreciar que las clases 2 “mosaicos de pastos y cultivos” y 3 “cobertura vegetal” muestran el primer paso de fusión, uniéndose a una distancia de 3,0094. Este umbral relativamente bajo indica que ambas muestran un alto grado de similitud multivariante, aunque sin dejar de manifestar ciertas

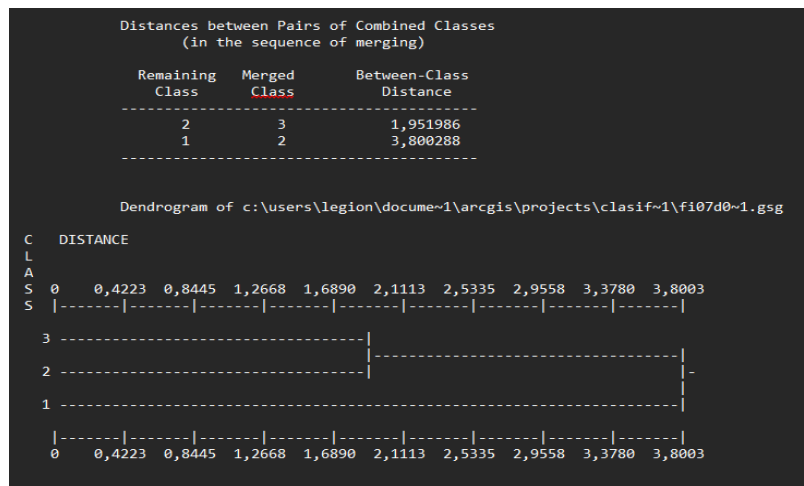
ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

disimilitudes que mantienen una identidad relativamente diferenciada. La altura a la que se produce esta fusión proporciona una representación gráfica tanto del grado de relación como de la diversidad residual presentes en el conjunto de datos.

Posteriormente, el clúster de las clases 2 y 3 se fusiona con la clase 1 a una distancia de 4,1768, mucho más elevada que el primer paso de fusión. Esto significa que la clase 1 “zonas urbanas” presenta una disimilitud comparativa más pronunciada frente al agrupamiento formado por 2 y 3, aumentando así el umbral de diversidad. La estructura del dendrograma pone así en evidencia que el conjunto de grupos presenta una relación jerárquica en dos fases: primero la unión de los grupos más semejantes, seguido de la incorporación de aquel que se revela más distinto.

Figura 18

Dendrograma resultante de la clasificación supervisada del año 2009.



Nota: Se muestra la fusión temprana entre las coberturas mosaico de pastos y cultivos y cobertura vegetal, indicando un alto grado de similitud entre ambas categorías

Para el caso de la clasificación supervisada del año 2009, la *Figura 18* permite apreciar que la primera fusión ocurrió entre las clases 2 “mosaico de pastos y cultivos” y 3 “cobertura

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

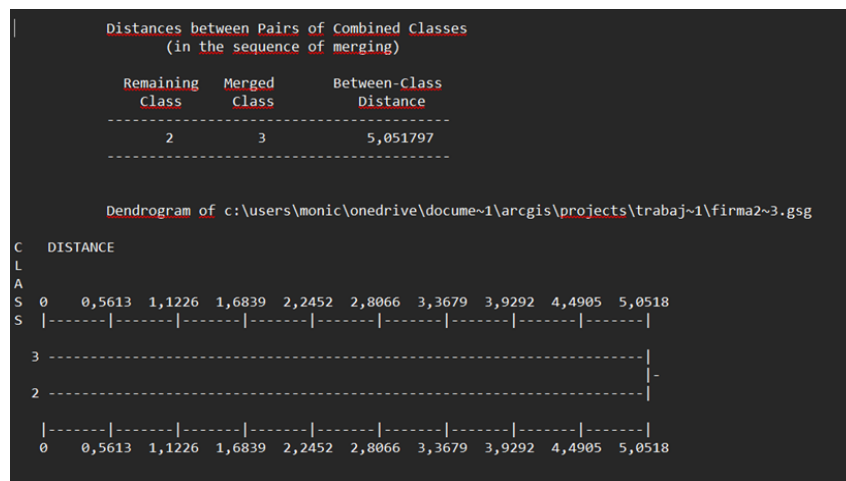
vegetal”, con una distancia entre ellas de 1.951986, esto significa que estas dos clases eran las más similares entre las iniciales en el momento de esa fusión, con un umbral bajo que indica un alto grado de similitud multivariante, aunque sin dejar de manifestar ciertas disimilitudes que mantienen una identidad relativamente diferenciada. La altura a la que se produce esta fusión proporciona una representación gráfica tanto del grado de relación como de la diversidad residual presentes en el conjunto de datos.

Posteriormente, la clase 1 “zonas urbanas” se fusionó con la clase combinada (que ahora incluye a las clases 2 y 3), la distancia entre la clase 1 y la clase 2 (grupo fusionado 2 y 3) fue de 3.800288; esta es una distancia mayor, lo que indica que estas entidades eran menos similares que las que se fusionaron previamente (clases 2 y 3).

Las clases 2 y 3 son las más similares entre sí, formando un clúster a una distancia de aproximadamente 1.95, luego, este clúster se une con la clase 1 a una distancia mayor de aproximadamente 3.80, indicando que la clase 1 es menos similar al grupo (2,3) de lo que las clases 2 y 3 son entre sí.

Figura 19

Dendrograma resultante de la clasificación supervisada del año 2024.



ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Nota: Se muestra la fusión entre las coberturas mosaico de pastos y cultivos y cobertura vegetal, ocurrida a una distancia de 5.05, lo que refleja una baja similitud entre ambas coberturas.

Para el caso de la clasificación del año 2024, la *Figura 19* permite apreciar que las clases 2 (Mosaico de pastos y cultivos) y 3 (Cobertura vegetal) son las únicas que fueron fusionadas durante el proceso jerárquico, y esta fusión se produjo a una distancia de 5.0518. Esta distancia es relativamente alta dentro de la escala utilizada, lo que indica que, aunque estas dos clases fueron las más similares entre sí, todavía presentan diferencias considerables. La altura a la que se unen en el dendrograma refleja esta separación.

Por otro lado, la clase 1 (zonas urbanas) no fue fusionada con ninguna otra clase dentro del rango de distancias representado. Esto sugiere que la clase 1 es significativamente distinta tanto de la clase 2 como de la clase 3. El hecho de que la clase 1 no participe en ninguna fusión indica que mantiene un alto grado de disimilitud con respecto a las demás, lo cual puede interpretarse como una buena diferenciación o separación en el espacio de atributos. Esta diferenciación puede deberse a características propias de su firma espectral, comportamiento físico o estadístico que la distinguen con claridad de las otras dos.

El dendrograma revela que las clases 2 y 3 comparten cierto nivel de similitud, por lo que podrían llegar a fusionarse en una sola categoría, sin embargo, tienen una distancia considerable que afirma que son clases diferentes. La clase 1, al no agruparse con ninguna otra, mantiene una posición claramente diferenciada, lo que implica que su representación como una clase individual es apropiada y respaldada por el análisis jerárquico.

7.4 Fase III Análisis percepción de zonas verdes- Encuesta aplicada

Con el fin de complementar el análisis realizado en las fases anteriores, se diseñó una encuesta orientada a conocer la percepción de la comunidad frente a la pérdida de cobertura vegetal en la localidad de Suba, este instrumento permitió obtener un total de 330 respuestas

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

válidas, la información recolectada ofrece un buen insumo para identificar la opinión de los habitantes respecto al estado actual de las zonas verdes, los factores que inciden en su deterioro, y la percepción sobre su importancia ambiental y social.

En la *Figura 20* se presenta un resumen general de la participación obtenida a través de la plataforma Survey123.

Figura 20

Resumen estadístico de la participación en la encuesta sobre percepción de zonas verdes.



Nota: La imagen muestra los datos globales del formulario, incluyendo el total de registros (330).

Como se observa en la *Figura 21*, las respuestas obtenidas provienen de distintas zonas de la localidad, incluyendo personas aledañas a la Reserva Forestal Thomas Van Der Hammen, los humedales Juan Amarillo y La Conejera, así como zonas del oriente, suroccidente y cercanías al río Bogotá, esta distribución permite identificar percepciones diferenciadas, dado que los contextos urbanos son diferentes en cada zona.

Figura 21

Ubicación geográfica de las personas encuestadas en la localidad de Suba.



ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Nota: El mapa evidencia la localización de las respuestas según el lugar de residencia de los participantes.

La localización de las personas encuestadas se obtuvo mediante participación voluntaria, convocada a través de líderes comunitarios y organizaciones locales. Aunque la invitación se difundió en toda la localidad, la receptividad fue heterogénea entre sectores; por ello, algunas zonas presentan menor representación espacial o carecen de puntos georreferenciados. Para reducir este sesgo de cobertura, la recolección se enfocó en áreas con mayor relevancia ambiental y con delimitaciones como humedales, ríos, reservas y esto se realizó con el propósito de captar percepciones en los territorios más sensibles

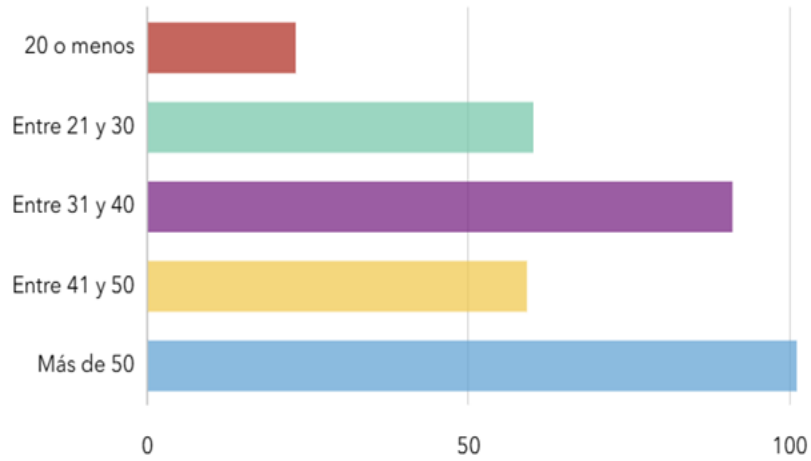
A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la encuesta realizada a la comunidad de la localidad de Suba:

6.1.2 Perfil Demográfico

En la *Figura 22* se observa que la muestra de la encuesta estuvo compuesta en su mayoría por mujeres (213), seguidas por hombres (116) y un solo participante que prefirió no especificar su género. En cuanto a las edades, los grupos más representados fueron los mayores de 50 años (97), seguidos por adultos entre 31 y 40 años (90), y entre 21 y 30 años (59).

Figura 22

Distribución de los participantes según la edad.



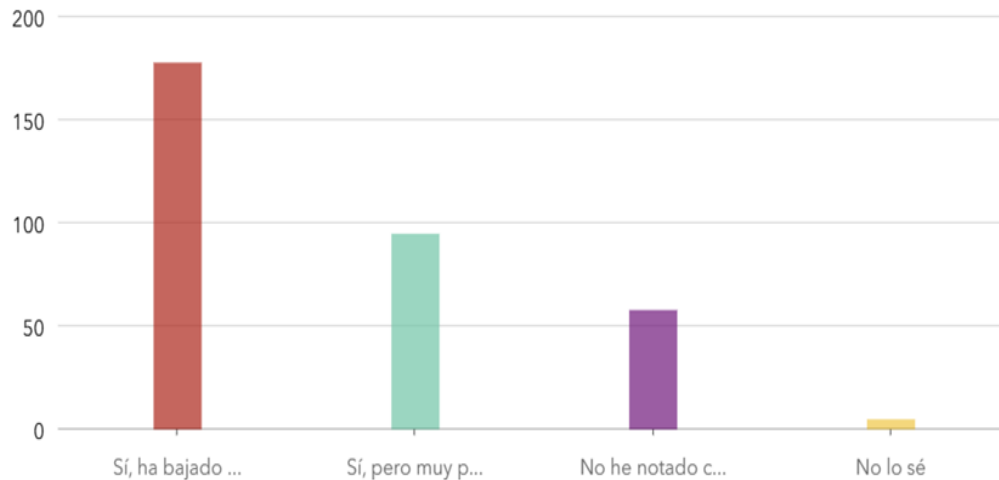
Nota: La imagen muestra la representación por rangos de edad de los 330 encuestados.

6.2 Percepción Sobre el Cambio en las Zonas Verdes

En la Figura 23 se evidencia que una mayoría importante de los encuestados (174) percibe que las zonas verdes han disminuido considerablemente, mientras que 91 consideran que han bajado levemente. Solo 54 personas manifestaron no haber notado cambios. Esto indica una tendencia clara de percepción negativa sobre la conservación de estas áreas.

Figura 23

Percepción de los encuestados sobre los cambios en las zonas verdes.



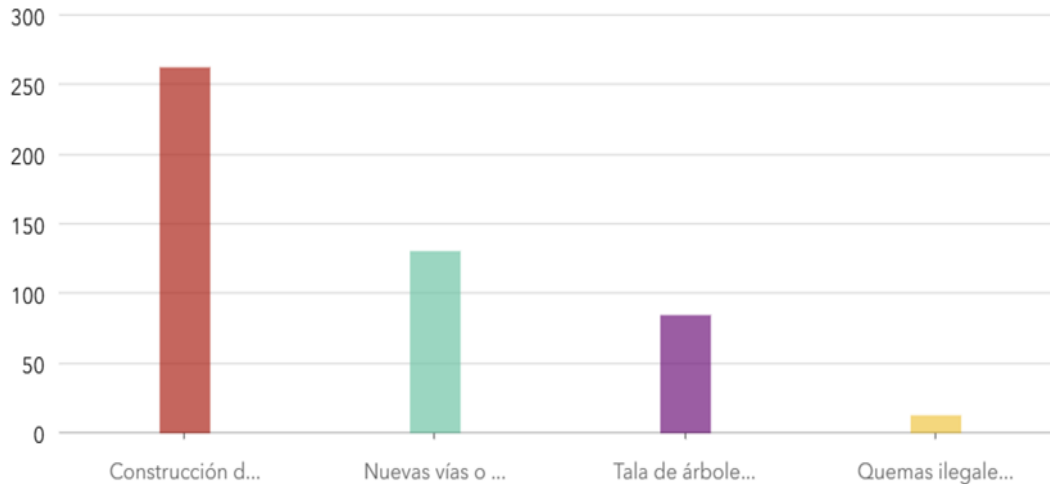
Nota: Se evidencia que la mayoría de las personas encuestadas (174) perciben disminución de las zonas verdes en la localidad de Suba.

6.3 Causas Percibidas de la Disminución

En la *Figura 24* se muestran las principales causas identificadas por los encuestados son la construcción de casas y edificios (263 menciones), seguida por la apertura o ampliación de vías (131 menciones). También se mencionaron la tala de árboles en parques (85) y, en menor medida, quemadas ilegales (13).

Figura 24

Causas percibidas por los encuestados sobre la disminución de las zonas verdes.



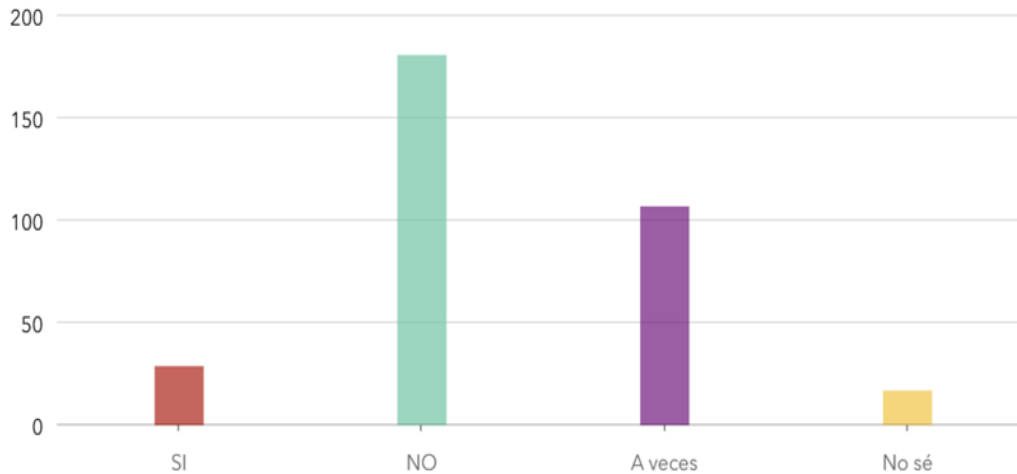
Nota: La principal causa de la pérdida de cobertura vegetal identificada por la comunidad fue la construcción de viviendas y edificios (263 menciones).

6.4 Evaluación del Cuidado por Parte de las Autoridades

Como se observa en la *Figura 25*, gran parte de los encuestados opina que las autoridades no están cuidando adecuadamente las zonas verdes (178 respuestas). Un grupo considerable expresó que solo 'a veces' lo hacen (104), y solo una minoría considera que sí se está haciendo un buen trabajo (27).

Figura 25

Percepción de la comunidad sobre el cuidado de las zonas verdes por parte de las autoridades.



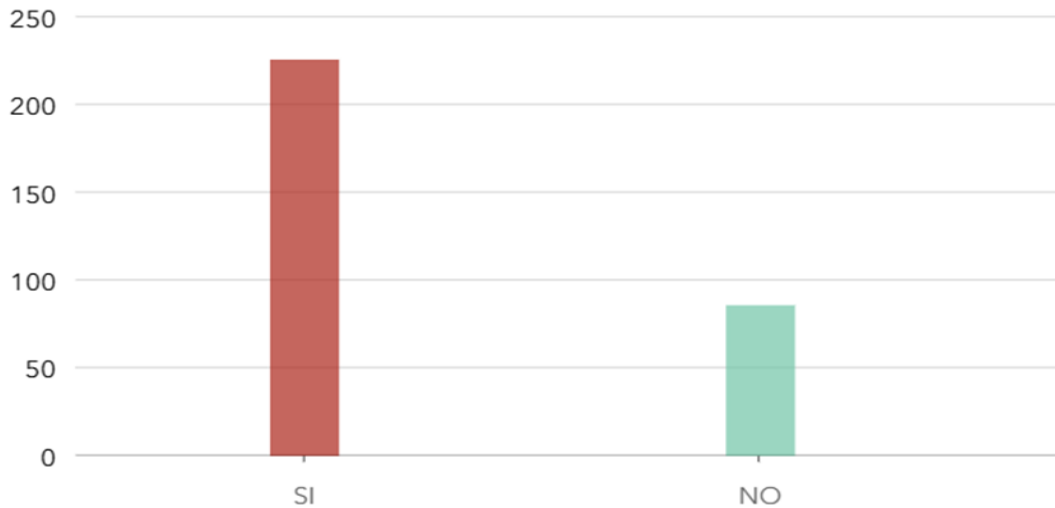
Nota: La mayoría de las personas encuestadas consideran que las autoridades no cuidan adecuadamente las zonas verdes (178 personas).

6.5 Impacto por Pérdida de Zonas Verdes en la Localidad de Suba

Según los resultados mostrados en la *Figura 26* la pérdida de zonas verdes ha generado un impacto negativo en la calidad de vida, la gran mayoría de los encuestados (225) siente que la pérdida de zonas verdes ha empeorado la calidad de vida en Suba. En contraste, solo 84 personas no perciben un impacto negativo.

Figura 26

Percepción del impacto por pérdida de zonas verdes en Suba.



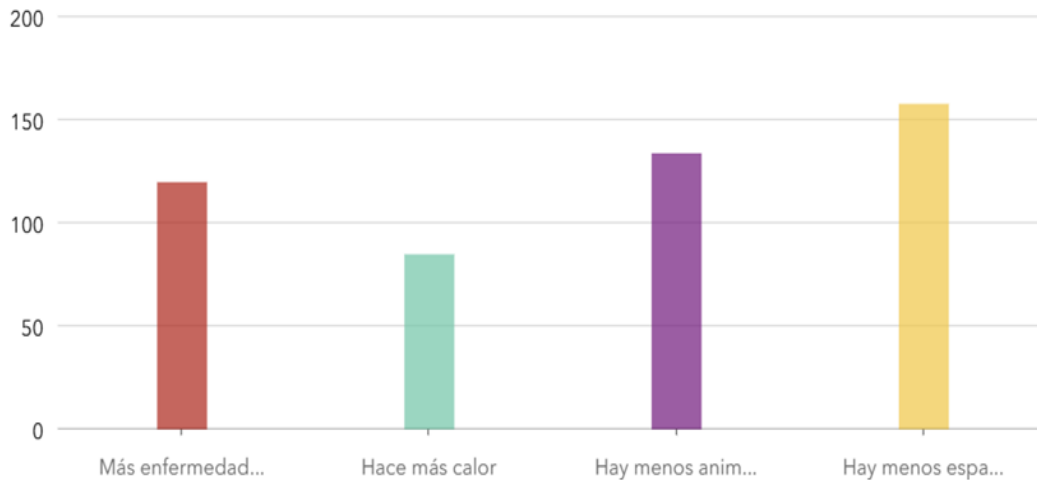
Nota: Un total de 225 personas perciben que la pérdida de las zonas verdes en la localidad de Suba ha deteriorado su calidad de vida.

6.6 Problemas Asociados a la Pérdida de Vegetación

La pérdida de vegetación en la localidad de Suba ha generado una serie de impactos los cuales han sido percibidos por la comunidad, como se observa en la *Figura 27* los problemas más frecuentes señalados son: menor disponibilidad de espacios para compartir (158 menciones), pérdida de flora y fauna (134), mayor incidencia de enfermedades respiratorias (120), y aumento de la temperatura (85).

Figura 27

Problemas más frecuentes asociados a la pérdida de vegetación en Suba.



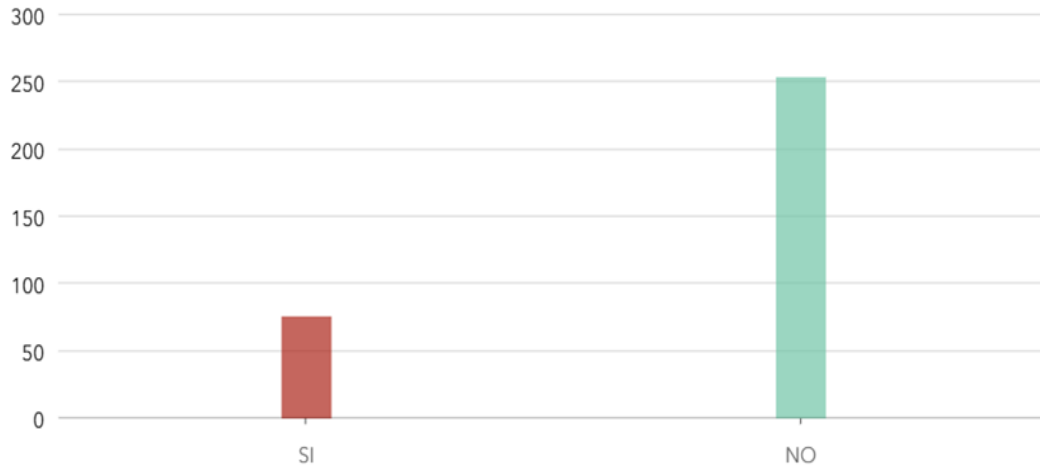
Nota: La disminución de espacios para compartir y la pérdida de fauna y flora fueron los problemas más frecuentes asociados por la comunidad con la pérdida de la cobertura vegetal en la localidad de Suba.

6.7 Participación Comunitaria

La participación de la comunidad en la protección de las zonas verdes es un aspecto importante para la conservación, según los resultados de la encuesta, presentados en la *Figura 28* una amplia mayoría de personas (254) manifestó que la comunidad no ha tomado acciones significativas para proteger las zonas verdes, frente a 76 personas que afirmaron que sí se han tomado medidas.

Figura 28

Nivel de participación comunitaria frente a la pérdida de zonas verdes.



Nota: Se evidencia una baja percepción de acciones comunitarias orientadas a la conservación ambiental.

El análisis de los datos evidencia una percepción negativa generalizada respecto al estado actual de las zonas verdes en la localidad de Suba. Existe una preocupación extendida sobre su reducción, atribuida principalmente a desarrollos urbanísticos y obras de infraestructura. Los residentes perciben que las autoridades no están actuando con suficiente eficacia, y aunque algunos reportan acciones comunitarias, estas no son representativas. La pérdida de vegetación se asocia con múltiples problemas ambientales y sociales, afectando directamente la calidad de vida de los habitantes. Se deben promulgar políticas ambientales más efectivas y una mayor conciencia ciudadana en términos de conservación ambiental

6.8 Fase IV: Propuesta de Estrategias de Conservación y Mitigación

Para establecer las siguientes estrategias se tiene en cuenta la normativa nacional y distrital, con el fin de que se encuentren alineadas a lo definido en estas

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Estrategia de monitoreo utilizando SIG: Se propone incorporar herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y teledetección para el diseño de un sistema de monitoreo participativo, en el que la comunidad sea capacitada en el uso básico de estas tecnologías con el objetivo de reportar cambios visibles asociados a procesos de degradación ambiental. Esta información serviría como insumo clave para que las autoridades competentes puedan tomar decisiones ágiles y basadas en evidencia, permitiendo una respuesta oportuna frente a las transformaciones del entorno. Esta propuesta se enmarca en lo dispuesto por el Artículo 3.2.5 del POT 555 de 2021, que asigna a la Secretaría Distrital de Planeación la responsabilidad de proteger la Estructura Ecológica Principal (EEP) y las Zonas de Protección Ecológica (ZPE); por tanto, el uso de herramientas SIG por parte de esta entidad permitiría desarrollar tableros de control (dashboards) para generar alertas tempranas ante la pérdida de cobertura vegetal, fortaleciendo así la capacidad institucional de respuesta y vigilancia ambiental.

Estrategia de participación y educación ambiental: Con base en el Artículo 10 de la Ley 99 de 1993, que establece el principio de educación ambiental, y la Ley 1549 de 2012, que promueve la consolidación de la Política Nacional de Educación Ambiental, se propone el diseño e implementación de programas de Voluntariado y Ciencia Ciudadana Ambiental que fortalezcan el vínculo entre la comunidad y el entorno natural. Estos programas deben involucrar a las juntas de acción comunal, instituciones educativas, organizaciones sociales, la alcaldía local y colectivos ambientales, con el fin de promover procesos formativos que integren conocimiento técnico, reconocimiento territorial y responsabilidad ambiental. Las actividades pueden incluir jornadas de sensibilización, salidas de campo, monitoreo participativo, campañas de limpieza y talleres prácticos sobre restauración o manejo de residuos, si bien algunas de estas actividades ya se realizan, es importante que se implemente las que faltan y se realice seguimiento a las que están con el fin de garantizar que se sostengan con el tiempo.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Asimismo, se sugiere fortalecer y visibilizar iniciativas como los PRAE (Proyectos Ambientales Escolares) y los PROCEDA (Proyectos Ciudadanos de Educación Ambiental), ampliando su alcance territorial y fomentando la corresponsabilidad ambiental desde edades tempranas. Esta estrategia busca no solo educar, sino también empoderar a la comunidad para que se convierta en aliada activa en la gestión ambiental de su territorio.

Estrategia elaboración diagnóstica línea base de ecosistemas: Se propone desarrollar un análisis diagnóstico del estado actual de las zonas verdes en la localidad de suba, con participación de la comunidad, mediante la elaboración de inventarios de flora y fauna que incluyan el reconocimiento y registro de especies presentes, tanto nativas como inducidas. Para ello, se recomienda emplear metodologías de cartografía social, que permitan integrar el conocimiento local con herramientas participativas de mapeo. Lo que se busca con este diagnóstico es contribuir a la construcción de una línea base sólida de ecosistemas, útil para orientar decisiones institucionales y formular proyectos de restauración ecológica por parte de entidades distritales como la Secretaría Distrital de Ambiente, la UAESP y la Alcaldía Local.

Esta estrategia se fundamenta en el Artículo 3.2.5 del POT 555 de 2021, que establece la necesidad de proteger y gestionar la Estructura Ecológica Principal (EEP) y las Zonas de Protección Ecológica (ZPE), así como en el Artículo 10 de la Ley 99 de 1993, que promueve la participación ciudadana y la educación ambiental como instrumentos clave para la conservación del medio ambiente. Asimismo, se alinea con la Política Nacional de Educación Ambiental (Ley 1549 de 2012), que fomenta la articulación de actores locales en la generación de información y conocimiento ambiental de base comunitaria.

Estrategia de infraestructura urbana: En el marco del Acuerdo 489 de 2012, que adopta la Política Pública Distrital de Ecourbanismo y Construcción Sostenible, y el Decreto Distrital 121 de 2014, se propone una estrategia orientada a la implementación progresiva de infraestructura

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

verde en viviendas ya construidas. Esta estrategia incluye la incorporación de elementos como techos y muros verdes, sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias, jardines verticales y superficies permeables, con el propósito de transformar el entorno urbano existente hacia modelos más sostenibles.

Lo anterior es con el fin de que la localidad avance hacia la construcción de eco barrios, esta estrategia se enmarca en los lineamientos de sostenibilidad establecidos por el Distrito para mitigar los efectos del cambio climático y promover ciudades más resilientes y verdes.

Estrategia de financiación: Se propone articular una estrategia de financiación que permita la implementación efectiva de las acciones ambientales planteadas en este trabajo, aprovechando recursos ya existentes en el marco normativo distrital y nacional. En primer lugar, se sugiere destinar recursos del Fondo de Desarrollo Local para proyectos ambientales alineados con el Plan de Desarrollo Local de Suba, conforme al Decreto Distrital 372 de 2010. También se plantea el uso de recursos provenientes de compensaciones ambientales por pérdida de biodiversidad, en el marco del Decreto 1076 de 2015, para apoyar procesos de restauración ecológica.

Adicionalmente, se recomienda que entidades como la Secretaría Distrital de Ambiente y la UAESP incluyan estas acciones en sus planes de inversión (PAI y PACA), según lo establecido en la Ley 99 de 1993. Finalmente, se propone promover alianzas público-comunitarias y público-privadas que faciliten la cofinanciación de actividades mediante convenios con universidades, ONGs y empresas del sector privado. Esta estrategia busca garantizar la sostenibilidad financiera de las propuestas, fortaleciendo la corresponsabilidad institucional y comunitaria en la gestión ambiental.

8. Discusión

El análisis comparativo entre los POT 190 de 2004 y 555 de 2021, enfocado en la localidad de Suba, nos muestra una evolución sobre la planificación del territorio respecto a la conservación ambiental; donde en el POT 555 se ve como un instrumento técnico más avanzado, con herramientas como infraestructuras verdes, conectividad ecológica proyectada y cartografía más detallada, lo cual no significa una mayor protección en los ecosistemas; porque como se evidencia en la realidad se han excluido áreas ambientales declaradas y se han aprobado ampliación de vías y proyectos de viviendas; donde esto puede permitir determinar que se contradice el POT 555 y genera fragmentación ecológica y afectaciones ambientales a los humedales; mostrando que no siempre se prioriza las zonas ambientales frente a las necesidades de infraestructura de la ciudad y de la localidad; por lo cual es necesario revisar mecanismos de evaluación ambiental estratégica en el marco del POT, así como fortalecer la participación ciudadana y comunitaria en la protección de estos territorios ambientales.

En cuanto a los resultados obtenidos a partir de la clasificación supervisada de las ortofotografías correspondientes a los años 2004, 2009 y 2024 y el cálculo de áreas cambiantes, evidencian una disminución de la cobertura vegetal, la cual coincide espacialmente con zonas donde se han desarrollado proyectos urbanísticos y de infraestructura, por lo tanto, existe una relación inversamente proporcional entre el proceso de expansión urbana y la pérdida de cobertura vegetal. Esta tendencia es consistente con trabajos de investigación previos, como el desarrollado en el año 2018 por Achicanoy, Robles & Sánchez, en el cual advierten sobre la fragmentación ecológica producto del crecimiento urbano descontrolado en la localidad de Suba. Las clasificaciones supervisadas realizadas a las ortofotografías estudiadas (2004, 2009 y 2024) y que fueron validadas mediante el uso de matrices de confusión y métricas de exactitud global y

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

por clase, muestran una reducción importante de la cobertura vegetal y un incremento sostenido de las zonas urbanizadas. En este sentido y teniendo en cuenta la coincidencia espacial entre las áreas de disminución de vegetación y la construcción de proyectos urbanísticos y de infraestructura, se evidencia una relación inversa entre expansión urbana y cobertura vegetal.

Por otro lado, las matrices de cambio detallan la ruta de transformación, en donde la conversión de Cobertura vegetal a zonas urbanizadas es directa, el paso de mosaico de pastos y cultivos a zonas urbanizadas es el inicio de la transformación hacia la urbanización y el cambio de vegetación a mosaico de pastos y cultivos refleja una degradación previa de esta cobertura. Lo anterior, permite detectar oportunamente áreas sensibles, que requieran atención e intervención para evitar que la vegetación que comienza a degradarse se pierda definitivamente.

Desde el punto de vista metodológico, la clasificación se sustentó en muestras representativas de cada cobertura, evaluación de separabilidad espectral para reducir confusiones y un filtro suavizar los bordes de los polígonos resultantes y de esta manera eliminar píxeles aislados. Si bien las exactitudes alcanzadas permiten analizar tendencias y patrones espaciales a nivel local, no es conveniente que se usen para la toma de decisiones prediales sin una verificación adicional, esto teniendo en cuenta que algunas variables como sombras, mezclas espectrales y texturas urbanas complejas pueden generar interpretaciones erróneas.

Finalmente, en cuanto a los resultados de este objetivo, es importante señalar que tiene coherencia con lo relacionado en la revisión de literatura realizada en donde se menciona como el crecimiento urbano afecta la disponibilidad de vegetación, lo cual acarrea diversos efectos adversos como lo es la fragmentación ecológica o la baja disponibilidad de espacios naturales de recreación, entre otros. Así mismo, concuerda con los estudios previos que se han desarrollado en

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

la localidad, donde las conclusiones apuntaron a la evidencia de la afectación en la cobertura vegetal a causa del crecimiento urbano.

La encuesta, muestra que la mayoría de las personas perciben una pérdida significativa de zonas verdes, atribuida principalmente al aumento de zonas de expansión urbana para nuevas construcciones de vivienda y de vías; también se pudo percibir que no se tiene una fuerte participación ciudadana; con esto podemos ver que se requiere fortalecer acciones de participación, que se necesita mayor cumplimiento en las normativas de la localidad; mayor presencia de entidades del distrito, promover la educación ambiental, con el fin de mitigar el deterioro de las zonas verdes y restaurar su valor ecológico.

La discusión se da a causa de tensión existente entre el crecimiento urbano y la sostenibilidad ambiental, una localidad densamente poblada como Suba presenta una demanda innegable de vivienda, infraestructura y servicios públicos bajo el modelo actual de expansión, lo que ha resultado en la ocupación de áreas estratégicas ambientales y de alta sensibilidad, como humedales, rondas hídricas y reservas forestales; lo anterior deja en evidencia una desconexión entre los procesos urbanísticos y los principios de un ordenamiento territorial sostenible, lo que acrecienta la necesidad de generar enfoques integrales que contemplen aspectos ambientales, sociales y económicos.

Finalmente, este trabajo reafirma la importancia del uso de herramientas de análisis espacial y teledetección para la evaluación de los cambios del territorio, la metodología empleada permitió cuantificar la pérdida de cobertura vegetal, así como también identificar los patrones espaciales de cambio que permitan evaluar la efectividad de las políticas implementadas.

También es necesario articular el conocimiento técnico y la gestión participativa, involucrando

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

activamente las comunidades e instituciones en la toma de decisiones, en este sentido todas aquellas estrategias de conservación y mitigación propuestas deben ser entendidas como pilares fundamentales para avanzar en una urbanización sostenible en la localidad de Suba.

7. Conclusiones

En relación con el tratamiento normativo de la cobertura vegetal en los POT 190 de 2004 y POT 555 de 2021, se identificó un avance significativo entre el POT 190 de 2004 y el POT 555 de 2021. Este último incorpora un enfoque más sostenible e integrador hacia la cobertura vegetal, a través de estrategias de conectividad ecológica, medidas de adaptación al cambio climático, y herramientas más detalladas para la protección de la Estructura Ecológica Principal (EEP). Este cambio normativo representa un paso importante hacia la planificación urbana ambientalmente responsable; si bien el POT 555 tiene esta visión integradora, sin embargo, a pesar de esta visión integradora, en la práctica persisten desafíos en el control y la vigilancia, ya que se han excluido áreas ambientales importantes previamente reconocidas y declaradas, lo que evidencia la necesidad de fortalecer los mecanismos de implementación.

El análisis geoespacial confirmó una disminución significativa y acelerada de la cobertura vegetal en Suba. Entre 2004 y 2024, la "cobertura vegetal" se redujo en un 5,56% (557,58 ha), pasando del 24,98% al 19,42% del área total de la localidad. Paralelamente, las "zonas urbanas" experimentaron un incremento del 5,51% (552,46 ha), alcanzando el 50,40% del área total del territorio en 2024. La tasa de urbanización se aceleró drásticamente, pasando de 3,53 ha/año entre 2004-2009 a 32,98 ha/año entre 2009-2024. Los cambios directos de "cobertura vegetal" a "zonas urbanas" (6,25%) y de "mosaico de pastos y cultivos" a "zonas urbanas" (3,38%) evidencian la presión directa del desarrollo sobre los ecosistemas naturales, donde esta métrica confirma la hipótesis central del estudio sobre la relación inversa entre la expansión urbana y la disponibilidad de cobertura vegetal.

El crecimiento de áreas destinadas a mosaico de pastos y cultivos no fue significativo en el período evaluado, ya que corresponde a un 0,1% (5,11 ha), por lo tanto, esta categoría no ha sido determinante en la pérdida de cobertura vegetal.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Sobre la percepción ciudadana frente a la pérdida de cobertura vegetal, los resultados de las encuestas aplicadas a 330 personas de la localidad mediante herramientas digitales, se evidenció una percepción mayoritariamente negativa sobre el estado de las zonas verdes. Los encuestados manifestaron que tanto autoridades como comunidad han descuidado estos espacios, afectando la calidad de vida, el bienestar ambiental y la apropiación del entorno.

Las estrategias propuestas surgen como respuesta a los hallazgos del estudio y están alineadas con el marco normativo vigente. Estas incluyen educación ambiental, participación comunitaria, monitoreo con SIG, restauración ecológica y criterios de ecourbanismo, buscando no solo una intervención institucional, sino también una corresponsabilidad ciudadana activa y sostenible.

8. Recomendaciones

Para este tipo de análisis, es importante considerar un periodo de tiempo más amplio, ya que esto permite identificar con mayor precisión los cambios significativos en la cobertura del suelo y comprender mejor la dinámica del crecimiento urbano. Además, el fortalecimiento de esta metodología a partir de una ampliación temporal no solo mejoraría los resultados obtenidos en el caso de Suba, sino que también permitiría su aplicación en otras localidades.

La resolución espacial de las imágenes juega un papel fundamental en este tipo de estudios, ya que permite un análisis más detallado de los elementos observados. En este caso, se logró acceder a imágenes de alta calidad; sin embargo, obtener este tipo de material resulta complicado debido a la baja disponibilidad gratuita y a la complejidad y lentitud de los procesos de solicitud ante las entidades que disponen de la información.

La participación y percepción de la comunidad son aspectos fundamentales en cualquier estudio territorial, ya que su visión como actores principales debe ser considerada en todo momento. Uno de los principales retos en este trabajo fue lograr un alcance significativo en la localidad, dado su gran extensión y la desconfianza que persiste en algunas comunidades frente a este tipo de iniciativas. No obstante, es necesario fortalecer los vínculos con la ciudadanía y aprovechar al máximo las herramientas tecnológicas disponibles en la actualidad, explorando nuevas estrategias para ampliar la cobertura y promover una participación más representativa en el proceso de análisis.

Se considera importante que la geodatabase entregada en este trabajo pueda seguir siendo complementada y actualizada en estudios posteriores, contar con este insumo permitirá comparar la información en diferentes vigencias, dar continuidad al análisis de la cobertura vegetal y mantener un registro ordenado que contribuya a la toma de decisiones en la localidad

9. Referencias

- Achicanoy, J. A., Rojas-Robles, R. y Sánchez, J. E. (2018). Análisis y proyección de las coberturas vegetales mediante el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica en la localidad de Suba, Bogotá-Colombia. *Gestión y Ambiente*, 21(1), 41–58. <https://doi.org/10.15446/ga.v21n1.68285>
- Alcaldía local de Suba. (2021). Plan ambiental local de Suba 2021-2024, https://suba.gov.co/sites/suba.gov.co/files/planeacion/plan_ambiental_local_2021-2024_ok_v6_0.pdf
- Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C. (2010, 30 de agosto). *Decreto Distrital 372 de 2010, por el cual se reglamenta el proceso presupuestal de los Fondos de Desarrollo Local (F.D.L.)* [Decreto]. *Diario Oficial de Bogotá, D.C.* <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40252>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014). Decreto Distrital 121 de 2014. Por medio del cual se reglamenta la Política Pública de Ecurbanismo y Construcción Sostenible en el Distrito Capital. Bogotá D.C. Recuperado de: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=57713>
- Álvarez del Castillo, J., & Agredo Cardona, G. A. (2013). Pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico andino, caso cuenca urbana San Luis (Manizales). *Luna Azul*, (37), 30-48. Retrieved February 25, 2025, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S190924742013000200004&lng=en&tlng=es
- Aparicio Rodríguez, V., Avendaño Herrera, L. K., González Angarita, G. P. & Peña Angulo, D. (2018). Análisis geoespacial de la dinámica de los humedales Meandro del Say y Santa

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

- María del Lago: Conflictos de usos del suelo y su pérdida de área, 15 (1), 131-149. DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.1374>
- Arango De Vengoechea, I. (2023). La articulación urbana de conjuntos cerrados. Estudio de caso en la localidad de Suba, Bogotá. Cuadernos De Vivienda Y Urbanismo, 16. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu16.aucc>
- Astorkiza, I., & Ferrero Rodriguez, A. M. (2012). Expansión urbana y sostenibilidad: una dicotomía difícil de conciliar. Dialnet, 14(40), 47-78. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3958596>
- Athor, J. (2012). Buenos Aires: la historia de su paisaje natural. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. <https://www.fundacionazara.org.ar/img/libros/buenos-aires-la-historia-de-su-paisaje-natural.pdf>
- Barni, M. J., & Ratto, E. (2022). *Teledetección aplicada al agro: Clasificación de cultivos a partir de imágenes satelitales* [Trabajo final de carrera, Universidad Nacional de La Plata]. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Repositorio SEDICI. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/141770>
- Bastidas, J. A. (2020). Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y su efecto en los caudales máximos para la cuenca del río Guaguí en el municipio de Barbacoas, Nariño [Tesis de maestría, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/21fb7f1c-1d8d-4a9d-b64f-4b54b889d767/full>
- Bernal Mora, M. I. (2021). Estado del arte sobre la urbanización en los bordes de las ciudades: Una revisión desde la historia del hábitat popular del sur de Bogotá. *Revista Ciudades, Estados y Política*, 8(3), 131–146. <https://doi.org/10.15446/cep.v8n3.91754>

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Betancur, A. M. (2017). Hacia una propuesta de gestión ambiental urbana: alcances de la infraestructura verde, un nuevo paradigma. Recuperado de:

<http://hdl.handle.net/10554/38070>

Bolívar Aranibar, S. E., & Velásquez Chumpitaz, R. L. (2021). Variación de cobertura vegetal y suelo por la expansión urbana, aplicando teledetección, Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho, 2000–2020 [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo].

Repositorio Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/93057>

Buiza, N. A., & Esteban, R. D. (2023). Análisis de la pérdida de cobertura vegetal como efecto del crecimiento urbano en la ciudad de Huaraz - Áncash, entre los años 2010 al 2022 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/36565>

Cal Poly Humboldt. (2019). *Accuracy Metrics*. GSP 216: Introduction to Remote Sensing, recuperado de:

https://gsp.humboldt.edu/olm/courses/GSP_216/lessons/accuracy/metrics.html

Calvache Muñoz, D. A. (2018). *Análisis del área de cobertura vegetal en el crecimiento urbano de la ciudad de Pasto, Nariño* [Tesis de maestría, Universidad de Nariño]. Repositorio Institucional UNARIÑO.

C. Bren d'Amour, F. Reitsma, G. Baiocchi, S. Barthel, B. Güneralp, K. Erb, H. Haberl, F.

Creutzig, & K.C. Seto, (2017). Future urban land expansion and implications for global croplands, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 114 (34) 8939-8944,

<https://doi.org/10.1073/pnas.1606036114>

Cochran, W. G. (1977). *Sampling Techniques* (3rd ed.). Wiley. (Texto clásico que desarrolla la corrección por población finita y las fórmulas de tamaño de muestra para proporciones)

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Concejo de Bogotá. (2012). *Acuerdo 489 de 2012, por el cual se dictan los lineamientos para la formulación de la política pública de ruralidad para Bogotá D.C.* [Acuerdo]. *Diario Oficial*, No. 49.717.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47691>

Concepción, E. D. (2022). Expansión urbana o cómo el suelo urbanizado se dispersa por el paisaje: Implicaciones para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*, 31(1), 2165.

<https://doi.org/10.7818/ECOS.2165>

Congreso de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones* [Ley]. *Diario Oficial*, No. 41.593.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>

Congreso de Colombia. (1997). *Ley 388 de 1997, por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989 y la Ley 3ª de 1991, y se dictan otras disposiciones sobre ordenamiento territorial* [Ley]. *Diario Oficial*, No. 43.091.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339>

Congreso de Colombia. (2012). *Ley 1549 de 2012, por la cual se fortalecen los mecanismos de articulación del Sistema Nacional Ambiental (SINA)* [Ley]. *Diario Oficial*, No. 48.463.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=48289>

Cortés, L. (2022). Propuesta para la creación de un Distrito de Biodiversidad Urbana como modelo de infraestructura verde en la localidad de Suba en el contexto regional de Bogotá. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11634/47876>

Cuellar Maníos, C., & Serna Correa, P. (2021). Análisis multitemporal de pérdida de cobertura vegetal y su relación con los movimientos en masa a partir de la evidencia de ocurrencias conocidas (Inventario de procesos morfodinámicos) del municipio de Cartago, Valle del Cauca. Universidad Católica de Manizales.

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/3233/1/Analisis_multitemporal_perdida_cobertura_vegetal_relacion_movimiento_masa_apartir_evidencia_ocurrencias_conocidas_Inventario_procesos_morfodinamicos_Municipio_Cartago_Valle_Cauca.pdf

Cui, N., Feng, C.-C., Han, R., & Guo, L. (2019). Impact of Urbanization on Ecosystem Health: A Case Study in Zhuhai, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(23), 4717. <https://doi.org/10.3390/ijerph16234717>

Chudnovsky, A., Ben-Dor, E., & Saaroni, H. (2004). Urbanización y cambio en la cobertura vegetal: Un análisis de imágenes satelitales. *Revista de Geografía Aplicada*, 16(5), 112-123.

Cruz Solano, D., & Motta Morales, J. (2017). *Estimación de la pérdida de área en los humedales de Bogotá en las últimas cinco décadas debido a la construcción y sus respectivos efectos* [Tesis de maestría, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio institucional de la Universidad Distrital. <https://repository.udistrital.edu.co/items/c7198b2d-b095-4708-8e57-ee39d2fd19da>

ESRI. (s.f.). ArcGIS Pro: Cómo funciona Dendrograma. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-dendrogram-works.htm>

FAO. (2020). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020: Informe principal. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/ca9825es/CA9825ES.pdf>

Figueroa Intriago, J. S., & Zambrano Mera, B. J. (2023). Análisis del cambio de la cobertura vegetal en la zona alta de la parroquia Chirijos, Jipijapa. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Repositorio UNESUM. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/5328>

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Gómez Rodríguez, D. M., & Beltrán Vargas, J. E. (2018). Modelación dinámica de bienes y servicios ecosistémicos en la reserva forestal productora Thomas van der Hammen.

Colombia Forestal, 21(2), 188-204. <https://doi.org/10.14483/2256201X.12498>

González Espinosa J., Silva García J., Cortés Vargas J., Navarro López J. (2024). Woody Vegetation Carbon Storage in La Conejera Wetland, Bogotá (Colombia). ARPHA Preprints. <https://doi.org/10.3897/arphapreprints.e121717>

Heras-Heras, Mayra Carolina, Moreno-López, Joana Alexandra, Quevedo-Amay, Deisy Valeria, & Cuichan-Paucar, Santiago Homero. (2024). Pérdida de cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo en la Amazonia ecuatoriana. Agroecología Global. Revista Electrónica de Ciencias del Agro y Mar, 6(10), 89-104. Epub 30 de junio de 2024. <https://doi.org/10.35381/a.g.v6i10.3579>

IDEAM. (2014). Monitoreo de suelos y coberturas de la tierra: METODOLOGÍA CORINE LAND COVER. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>

K.C. Seto, B. Güneralp, & L.R. Hutyra. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 109 (40) 16083-16088, <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>.

Landis J, Koch G: The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics 1977; 33: 159-74.

LaRota Aguilera, M., Zapata Caldas, E., Buitrago Bermúdez, O., Marull, J. (2024). New criteria for sustainable land use planning of metropolitan green infrastructures in the tropical Andes. Landscape Ecology 39: 112. ISSN: 0921-2973

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Liu, Z., He, C., Zhou, Y. et al. (2014). How much of the world's land has been urbanized, really?

A hierarchical framework for avoiding confusion. *Landscape Ecol* 29, 763–771

<https://doi.org/10.1007/s10980-014-0034-y>

López López, Daniel M., & Torres Gómez, Aura C., Diplomado en análisis de información geoespacial: Análisis de datos tipo ráster. Centro público de investigación Conacyt,

<https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/182/1/12->

[An%C3%A1lisis%20de%20Datos%20Tipo%20Raster%20-](https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/182/1/12-An%C3%A1lisis%20de%20Datos%20Tipo%20Raster%20-)

[%20Diplomado%20en%20An%C3%A1lisis%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geoespacial.pdf](https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/182/1/12-%20Diplomado%20en%20An%C3%A1lisis%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geoespacial.pdf)

Ministerio del ambiente del Perú. (2014). Protocolo de evaluación de la exactitud temática del mapa de deforestación (1°). Burcon Impresores y Derivados SAC.

<https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Protocolo-Validacion-Mapa-Deforestacion.pdf>

McDonald, R. I., Kareiva, P., & Forman, R. T. T. (2008). The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation. *Biological Conservation*, 141(6), 1695–1703.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.04.025>

Nieves Rodríguez, E., & Preciado Beltrán, J. (2016). La problemática ambiental y territorial del municipio de Tenjo (Cundinamarca): último municipio verde de la Sabana de Bogotá.

Tecnogestión: Una mirada al ambiente, 12(1).

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/10562>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2010). *Normas sobre el entorno urbano y la salud:*

Recomendaciones para mejorar la salud en las ciudades (Informe técnico). Organización Mundial de la Salud.

https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/44373/9789243564029_spa.pdf

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Palacio Castañeda, G. (2012). Urbanismo, naturaleza y territorio en la Bogotá Republicana. 1810-1910. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52344>

Palacio Prieto, J. L., & Luna González, L. (1994). CLASIFICACIÓN ESPECTRAL AUTOMÁTICA VS. CLASIFICACIÓN VISUAL: Un ejemplo al sur de la Ciudad de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín*, (29).

Peña Santana, D. (2022). *Expansión urbana, servicios ecosistémicos y gobernanza en la interfase periurbana del borde noroccidental de Bogotá D.C.: Municipios de Cota y Chía: Aportes a la planificación territorial supramunicipal* [Tesis de maestría, Universidad de los Andes]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/1992/59005>

Picón, M. C., de la Barrera, F., Reyes, S., Forray, R., & Berrizbeitia, A. (2017). Planificación ecológica en Santiago de Chile. ¿Qué tan lejos estamos? Clasificación de iniciativas de planificación territorial basadas en una breve revisión bibliográfica. *Investigaciones Geográficas: Una Mirada Desde El Sur*, (54), 105–126. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2017.48044>

Presidencia de la República de Colombia. (2014, 28 de enero). *Decreto 121 de 2014, por medio del cual se reglamenta el artículo 161 de la Ley 1607 de 2012* [Decreto]. *Diario Oficial*, No. 49.047. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos%2F1027125>

Presidencia de la República de Colombia; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015, 26 de mayo). *Decreto 1076 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible* [Decreto]. *Diario Oficial*, No. 49.523. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/decreto-1076-de-2015/>

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

Romero Novoa, J. (2010). *Transformación urbana de la ciudad de Bogotá, 1990-2010: Efecto espacial de la liberalización del comercio. Perspectiva Geográfica*, 15, 85–112.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3736821>

Salas Pérez, C., Coy Castro, D., Acuña Ramírez, K., Páez Cuervo, L., & Upegui, E. (2019).

Crecimiento urbano e impermeabilización del suelo alrededor de la Reserva Forestal

Thomas van der Hammen, en la ciudad de Bogotá. *Ambiente y Desarrollo*, 23(44).

<https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd23-44.cuis>

Secretaría Distrital de Planeación. (2020). *Diagnóstico Suba* [Informe técnico]. Secretaría

Distrital de Planeación. [https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/11_suba_-_](https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/11_suba_-_diagnostico_pot_2020.pdf)

[diagnostico_pot_2020.pdf](https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/11_suba_-_diagnostico_pot_2020.pdf)

Secretaría Distrital de Planeación. (2004). Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C. POT

190 de 2004. Bogotá: Secretaría Distrital de Planeación.

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=13935>

Secretaría Distrital de Planeación. (2020). Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C. POT

555 de 2021. Bogotá:

SDP. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=119582>

Segura, J. A. (2023). Lineamientos de Planificación Territorial para la Consolidación del Borde

Urbano-Rural de Suba a partir de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN).

Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/66114>

Sun, X., Ma, Q. & Fang, G. (2023). Spatial scaling of land use/land cover and ecosystem services

across urban hierarchical levels: patterns and relationships. *Landsc Ecol* 38, 753–777

<https://doi.org/10.1007/s10980-021-01387-4>

The Nature Conservancy, Future Earth, & Stockholm Resilience Centre. (2018). Nature in the

urban century: A global assessment of where and how to conserve nature for biodiversity

ANÁLISIS DE LA EXPANSIÓN URBANA Y SUS EFECTOS EN LA PÉRDIDA...

and human wellbeing. The Nature Conservancy.

https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/TNC_NatureintheUrbanCentury_FullReport.pdf

Tovar Corzo, G. (2006). Manejo del arbolado urbano en Bogotá. *Colombia forestal*, 9(19), 187–205. <https://doi.org/10.14483/2256201X.3357>

Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (UAECD). (2024). Censo Inmobiliario Bogotá 2024,

https://www.catastrobogota.gov.co/sites/default/files/recursos/Documento%20censo%20V%202022-04%20%281%29_compressed.pdf

Universidad Externado de Colombia. (2007). Migración rural-urbana y expansión urbana en Bogotá. Bogotá: Publicaciones

Externado. <https://bdigital.uexternado.edu.co/entities/publication/61ee9768-fb4e-404b-b81f-78ec76ea704d>

Velasco Perez, J. (2023). Propuesta de bosque urbano: Articulación del territorio a partir del paisaje en el sector de Santa Helena, Bogotá. Universidad Nacional de Colombia.

Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84197>

Voogt, J., & Oke, T. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425703000798>

Wiesner-Ceballos, D. (2007). Proyectos de planeación del paisaje ensoñaciones sobre lo silvestre en Bogotá. *Revista de Arquitectura*, 9 (1), p. 29-37

http://editorial.ucatolica.edu.co/ojsucatolica/revistas_ucatolica/index.php/RevArq/article/view/794/824

10. Anexos

Anexo A

Tabla del POT 190 – Zonas de manejo ambiental

Anexo B

Tabla del POT 190 – Ronda hídrica

Anexo C

Tabla del POT 555 – Estructura ecológica principal

Anexo D

GDB- Resultados de la clasificación, capas de los POT y ubicación de encuestados

Anexo E

Mapas