



**Análisis Territorial de Crecimiento Urbano Basado en Sistemas de Información Geográfica:
Un Estudio de Caso en la Localidad de Usme para las UPL Rafael Uribe Y Usme Entrenubes**

**Lizette Juliana Guío Zamora
Lizney Yuraniz Forero Amaya**

**Universidad del Rosario
Escuela de Ciencias e Ingeniería
Facultad de Estudios Internacionales, Políticos y Urbanos
Bogotá D.C., Colombia
2025**

**Análisis Territorial de Crecimiento Urbano Basado en Sistemas de Información Geográfica:
Un Estudio de Caso en la Localidad de Usme para las UPL Rafael Uribe Y Usme Entrenubes**

**Lizette Juliana Guío Zamora
Lizney Yuraniz Forero Amaya**

Tesis presentada como requisito para obtener el título de:
Magíster en Ciudades Inteligentes y Sostenibles

Director

Guillermo Hernando Quintana Machado
Magister en Geografía

**Escuela de Ciencias e Ingeniería
Facultad de Estudios Internacionales, Políticos y Urbanos
Maestría en Ciudades inteligentes y Sostenibles
Universidad del Rosario
Bogotá D.C, Colombia
2025**

ABSTRACT

Usme, one of the most populous localities in southern Bogotá D.C. [1], is experiencing accelerated demographic growth, mainly driven by internal migration and unplanned urban expansion [2], generating significant pressure on its territory, with occupation of areas classified as high- and medium-risk due to forest fires, mass wasting, protected soils, and torrential channels, particularly from informal settlements.

This study aims to analyze the dynamics and patterns of urban growth in Usme, focusing on the Usme Entrenubes and Rafael Uribe Local Planning Units (UPLs), through a multitemporal characterization of satellite imagery from 2016 to 2025. The results are also contrasted with the land use and territorial planning criteria established in the “Bogotá Verdece 2022–2035” Land Use Plan (POT) and Decree 555 of 2021, to identify expansion over protected areas, threatened soils, and urban equipment zones. Results indicate a 41.4% increase in urbanized area (339.7 ha), with 44.5% corresponding to informal areas and a non-linear spatiotemporal pattern featuring intermittent reactivation clusters. Occupation of high-risk zones and 1.55% of growth on non-urbanizable or unmitigable risk areas were also observed, while projections for 2029 estimate 1,269.8 ha of urbanized land, concentrated in peripheral and vulnerable areas. The overlay with POT projects reveals significant conflicts, including more than 80% of the Alamedas Entrequibradas alignment already urbanized and 21–40% of other corridors built, reducing ecological connectivity and the intended environmental functionality.

Overall, the study demonstrates the utility of multitemporal and spatiotemporal cube analyses for understanding informal urban expansion, providing technical inputs for territorial management and sustainable urban planning, and enabling local and district authorities to prioritize control, monitoring, and intervention actions in critical and high-pressure urban areas.

Keywords: Territorial planning, smart city, urban growth, informal settlements, Usme, Bogotá, Geographic Information System (GIS), multitemporal analysis, Sentinel-2 satellite imagery, land management.

RESUMEN

Usme, una de las localidades más pobladas del sur de Bogotá D.C. [1], enfrenta un proceso de crecimiento demográfico acelerado, impulsado principalmente por la migración interna y la expansión urbana no planificada [2], generando presión sobre su territorio, con ocupación de zonas de amenaza alta y media por incendios forestales, remoción en masa, suelos de protección y avenidas torrenciales, particularmente de origen informal.

El presente estudio tiene como objetivo analizar la dinámica y los patrones del crecimiento urbano en la localidad de Usme, para las UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe, mediante la caracterización multitemporal de imágenes satelitales entre 2016 y 2025. Asimismo, contrasta los resultados con los criterios de ocupación y ordenamiento territorial establecidos en el Plan de Ordenamiento Territorial “Bogotá Reverdece 2022–2035” y en el Decreto 555 de 2021, con el fin de identificar la expansión sobre áreas protegidas, suelos de amenaza y zonas destinadas a equipamientos urbanos. Los resultados muestran un crecimiento urbano del 41,4% (339,7 ha), con un 44,5 % en áreas informales y un patrón espaciotemporal no lineal con núcleos de reactivación intermitentes. Se evidencia ocupación en zonas de amenaza alta y 1,55% del crecimiento sobre áreas no urbanizables o de amenaza no mitigable, mientras que la proyección al 2029 estima 1.269,8 ha urbanizadas, concentradas en zonas periféricas y vulnerables. El cruce con proyectos del POT indica conflictos significativos, incluyendo más del 80% del trazado de las Alamedas Entrequebradas ya urbanizado y entre el 21% y 40% de otros corredores ya urbanizados, reduciendo la conectividad ecológica y la funcionalidad ambiental prevista para la zona.

En conjunto, el estudio confirma la utilidad del análisis multitemporal y del cubo espaciotemporal para comprender la expansión urbana informal, generando insumos técnicos aplicables a la gestión territorial y planificación urbana sostenible, permitiendo a entidades distritales y locales priorizar acciones de control, vigilancia y seguimiento en áreas críticas y de alta presión urbana.

Palabras clave: Planeación territorial, ciudad inteligente, crecimiento urbano, asentamientos informales, Usme, Bogotá, Sistema de Información Geográfica (SIG), Análisis multitemporal, Imágenes satelitales Sentinel-2, Gestión del territorio.

CONTENIDO

ABSTRACT	3
RESUMEN	4
CONTENIDO	5
LISTADO DE FIGURAS	7
LISTADO DE TABLAS	9
INTRODUCCIÓN	10
1. OBJETIVOS	12
1.1 Objetivo general	12
1.2 Objetivos específicos	12
2. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	13
3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	18
3.1 Gobernanza inteligente, analítica urbana y planeación basada en datos para el análisis del crecimiento urbano	18
3.1.1 Gobernanza Inteligente (Smart Governance)	19
3.1.2 Analítica urbana	20
3.1.3 Planeación basada en datos	22
3.2 Análisis de imágenes satelitales para evidenciar expansión territorial	25
3.2.1 Antecedentes internacionales	25
3.2.2 Diagnóstico e inferencia satelital basado en imágenes	27
3.2.1 Análisis cubo espaciotemporal	30
3.3 Plan de Ordenamiento Territorial	30
3.3.1 Antecedentes nacionales	31
3.3.2 UPL Rafael Uribe	33
3.3.3 UPL Usme -Entrenubes	41
4. METODOLOGÍA	47
4.1 Validación crecimiento urbano	47
4.2 Área de Estudio	47

4.2.1	UPL Usme Entrenubes	50
4.2.2	UPL Rafael Uribe	51
4.3	Recolección de datos	52
4.3.1	Imágenes descargadas.....	53
4.3.2	Bandas espectrales.....	53
4.3.3	Combinaciones de bandas específicas.....	54
4.3.4	Análisis cubo espacio - temporal.....	54
4.4	Procesamiento de imágenes.....	55
4.5	Análisis de datos.....	56
4.6	Identificación de variables de estudio.....	56
4.6.1	Población impactada en las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes	56
4.6.2	Clasificación del suelo.....	59
4.7	Corrección del análisis temporal del crecimiento urbano.....	61
4.8	Análisis comparativo del crecimiento urbano	62
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
5.1	Análisis de la dinámica de crecimiento urbano en las UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe 64	
5.2	Análisis cubo espacio temporal	73
5.3	Contraste dinámico de crecimiento urbano para las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes en función del Decreto 555 de 2021	76
5.3.1	Análisis de amenaza de incendios forestales.....	77
5.3.2	Análisis de amenaza de remoción en masa.....	79
5.3.3	Análisis de amenaza en suelos de protección.....	84
5.3.4	Análisis de amenaza para avenidas torrenciales.....	86
5.3.5	Conflictos de crecimiento urbano en zonas de equipamiento	91
	Implicaciones técnicas para rutas de intervención y escenarios de gestión territorial	97
	CONCLUSIONES.....	98
	REFERENCIAS	104

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Total de hectáreas informales nuevas por década en Bogotá [12].....	13
Figura 2. Crecimiento informal de décadas por zonas para la ciudad de Bogotá[12].....	14
Figura 3. Bandas del satélite Sentinel [55].....	29
Figura 4. Bandas espectrales Sentinel 2 [56]	29
Figura 5. Densidad de Población UPL Rafael Uribe [63].....	34
Figura 6. Plano Visión UPL Rafael Uribe [63].....	36
Figura 7. Esquema Conector vital y de proximidad de La Estrella y El Zuque – Tramo II [63].	37
Figura 8. Esquema Calles completas de acceso a Santa Lucia. [63].....	40
Figura 9. Plano Acciones PIP Calles completas de acceso a Santa Lucia [63].....	40
Figura 10. Densidad de Población UPL Usme Entrenubes [63]	42
Figura 11. Plano Visión UPL Usme [63]	43
Figura 12. Esquema Alameda Usme patrimonial [63]......	44
Figura 13. Esquema Par Circuito Entre Domos [63].....	46
Figura 14. Localización general del área de estudio	49
Figura 15. UPL Usme Entrenubes POT Bogotá Reverdece 2022 – 2035 [69].....	50
Figura 16. UPL Rafael Uribe POT Bogotá Reverdece 2022 – 2035 [70].....	51
Figura 17. Proyección poblacional área urbana Usme Geovisor Análisis Geoespacial Censo General 2005	57
Figura 18. Crecimiento Urbano año 2025 en las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes en la Localidad de Usme	58
Figura 19. Dinámica de crecimiento urbano UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe para la localidad de Usme (2016 - 2025)	64
Figura 20. Crecimiento urbano por cada UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe para la localidad de Usme (2016 - 2025).....	65
Figura 21. Predicción de crecimiento urbano basada en la población para los años 2027 y 2029.	67
Figura 22. Comparación del área de crecimiento urbano por barrios legalmente constituidos desde 2016 hasta 2025	68
Figura 23. Comparación del área de crecimiento urbano por barrios en proceso de legalización desde 2016 hasta 2025.....	71

Figura 24. Comparación del área de crecimiento urbano en asentamiento informales desde 2016 hasta 2025	72
Figura 25. Análisis cubo - temporal UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes, respecto al área de barrios legalizados	75
Figura 26. Área afectada en hectáreas de eventos forestales por localidad (2014-2023) [79]	77
Figura 27. Comportamiento del área de crecimiento urbano en áreas de amenaza alta por incendios forestales según el POT desde 2016 hasta 2025	78
Figura 28. Amenaza UPL análisis por amenaza de remoción en masa	79
Figura 29. Áreas afectadas por amenaza de remoción en masa para la UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes para la localidad de Usme	80
Figura 30. Amenaza por remoción en masa en áreas no legalizadas en la localidad de Usme UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes	82
Figura 31. Áreas afectadas por amenaza de remoción en masa para la UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes para la localidad de Usme barrios informales	83
Figura 32. Crecimiento urbano en suelos protegidos según el POT	85
Figura 33. Amenaza de urbanización por avenidas torrenciales	87
Figura 34. Amenaza de urbanización por avenidas torrenciales para barrios no formalizados (se excluye del análisis la categorización de amenaza baja)	89
Figura 35. Amenaza para avenidas torrenciales en áreas no legalizadas en la localidad de Usme UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes	90
Figura 36. Áreas urbanas dentro de proyectos del POT Usme Entrenubes	93
Figura 37. Áreas urbanas dentro de proyectos del POT Rafael Uribe	96

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Registro de descarga de imágenes SENTINEL-2.....	53
Tabla 2. Criterios de clasificación de usos de suelo	56
Tabla 3. Dinámica de expansión urbana en la zona de análisis durante el periodo 2016 hasta 2025 [UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe] en la localidad de Usme.....	65

INTRODUCCIÓN

La expansión urbana en Bogotá D.C. ha sido un fenómeno notable en las últimas décadas. Las complejas presiones económicas, geográficas y demográficas han convertido el crecimiento y la expansión urbana de la ciudad en un verdadero desafío. En los últimos 50 años, Bogotá ha mostrado una tendencia hacia el aumento de la densidad poblacional, un desarrollo que está estrechamente relacionado con el ingreso económico de los pobladores. Así, por ejemplo, según el *Lincoln Institute of Land Policy* el desarrollo residencial se encuentra altamente segregado concentrándose en las secciones del sur y el oeste de la ciudad aquellos con menores ingresos monetarios [5]. La creciente demanda de servicios básicos y ecosistémicos ha llevado a la necesidad de una planificación urbana más sostenible y eficiente.

En este contexto, la caracterización y el análisis territorial mediante herramientas de sistemas de información geográfica resultan fundamentales para identificar dinámicas y patrones de crecimiento, permitiendo a las entidades gubernamentales gestionar el desarrollo urbano a través de estrategias basadas en datos. Es así como las herramientas de clasificación de imágenes satelitales ofrecen numerosas ventajas en los procesos de planificación urbana [6]. La teledetección, por su parte, posibilita la observación continua del territorio con alta frecuencia temporal y cobertura espacial a gran escala [7], lo que contribuye a una mejor comprensión de las transformaciones urbanas. Estas técnicas de clasificación permiten monitorear la huella de expansión urbana y gestionar el territorio a partir de información geográfica aplicada, por ejemplo, a la gestión del riesgo. En este sentido, la distribución espacial de las aglomeraciones urbanas se constituye en un componente esencial para la planificación y el desarrollo equilibrado de las ciudades [8].

Particularmente, la aplicación de estas herramientas en la localidad de Usme permite comprender con mayor precisión los procesos de crecimiento urbano y sus implicaciones en la planeación del territorio. El fenómeno de la expansión urbana en Usme ha estado impulsado por una rápida transformación territorial, que ha generado un incremento en la demanda de servicios básicos en áreas que carecen de un equipamiento urbano adecuado. Esto amplía la brecha social y afecta negativamente a los residentes de la localidad. La ocupación informal representa uno de los mayores desafíos del territorio, pues en los últimos 60 años se han desarrollado dinámicas

descontroladas de apropiación del suelo, limitando la creación de mecanismos eficientes para la toma de decisiones por parte del gobierno local y distrital [6].

A partir de este contexto, el presente estudio analiza la dinámica de crecimiento urbano en la localidad de Usme, específicamente en las Unidades de Planeamiento Local (UPL) Usme Entrenubes y Rafael Uribe, durante el período 2016–2025. El análisis se desarrolla mediante la interpretación de imágenes satelitales históricas, considerando variables de crecimiento poblacional, ocupación urbana y su relación con áreas de amenaza natural, suelos de protección y proyectos de equipamientos establecidos en el Decreto 555 de 2021, en el marco del Plan de Ordenamiento Territorial Bogotá Verdece 2022–2035.

De esta manera, la investigación busca caracterizar las transformaciones territoriales recientes y fortalecer la gestión urbana en Usme a partir del contraste entre la dinámica de crecimiento identificada y los criterios de planificación definidos en el POT vigente, contribuyendo con información técnica relevante para la toma de decisiones y el ordenamiento sostenible del territorio.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Analizar la dinámica de crecimiento urbano en la localidad de Usme para las UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe, durante el período 2016-2025, mediante la interpretación de imágenes satelitales y el análisis cubo espaciotemporal, en función de las variables de crecimiento poblacional, ocupación urbana y su contraste con áreas de amenaza natural, categorías de suelo de protección y proyectos de equipamiento establecidos en el Decreto 555 de 2021, en el marco del Plan de Ordenamiento Territorial “*Bogotá Reverdece 2022-2035*”.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar la dinámica de crecimiento urbano de la localidad de Usme, para las UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe, mediante la caracterización de imágenes satelitales desde el 2016 hasta el 2025.
- Realizar el análisis cubo espaciotemporal para validar los patrones del crecimiento urbano en la localidad de Usme, para las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes.
- Contrastar la dinámica de crecimiento urbano identificada en las UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe desde el 2016 hasta 2025, en función de los criterios de crecimiento y ocupación establecidos dentro del Plan de Ordenamiento Territorial “*Bogotá Reverdece 2022–2035*”, con el propósito de caracterizar la ocupación o intervención de áreas protegidas, proyectos de equipamiento y suelos de protección por amenazas establecidos en el Decreto 555 de 2021.

2. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Bogotá, en comparación con otras ciudades colombianas, presenta una expansión informal que en su mayoría es constante e imprevista, debido principalmente a los desplazamientos provocados por migraciones campo – ciudad (iniciadas en los años 50, por los desplazamientos forzados) y a la noción que se tiene sobre la mayor concentración de oportunidades económicas. Según un informe del Concejo de Bogotá, la mayoría elige la capital del país, por considerar que pueden tener mayores oportunidades económicas; las cifras indican que la mayoría de las víctimas de conflicto armado llegan a vivir a las localidades de Ciudad Bolívar, Bosa, Kennedy, Suba, San Cristóbal y Usme, siendo principalmente niñas, niños y adolescentes entre los 0 y 17 años [9].

Por otra parte, el déficit habitacional en Bogotá reportado por el DANE alcanza el 14,06% [10], de los cuales el 35% corresponde al déficit habitacional de la localidad de Usme. Esta cifra refleja que una proporción significativa de los hogares reside en viviendas que presentan carencias, ya sea porque requieren la construcción de nuevas unidades que amplíen el stock de vivienda adecuada, o porque necesitan intervenciones que permitan garantizar condiciones óptimas de habitabilidad. Es importante resaltar que la relación entre el déficit cuantitativo y el cualitativo está estrechamente vinculada con la disponibilidad de suelo urbano destinado a la construcción de vivienda de interés social. En este sentido, los procesos de asentamiento informal en las periferias no son un fenómeno aislado, sino la prolongación de una tendencia histórica en la conformación de la ciudad, producto de un mercado inmobiliario que excluye a amplios sectores de la población [11]. La Figura 1 muestra que cerca del 20% de la informalidad de vivienda en la ciudad se ha generado desde la década de 1990, mostrando una evidente disminución al ritmo del crecimiento informal en la ciudad. Sin embargo, esta tendencia decreciente no se debe a una disminución real de la informalidad, sino a un agotamiento del suelo, que muestra una tendencia de desaceleración [12].



Figura 1. Total de hectáreas informales nuevas por década en Bogotá [12]

Una medición para la década de 2001 a 2010, estableció que en Bogotá se iniciaron aproximadamente 32,6 millones de metros cuadrados nuevos para uso de vivienda, de los cuales el 65% fueron construidos en barrios de origen informal (sean asentamientos legalizados o sin legalizar) [12].

La expansión urbana informal en Bogotá constituye un proceso persistente y estructural asociado a flujos migratorios históricos, exclusión del mercado formal de vivienda y disponibilidad desigual de suelo urbanizable [9]. En localidades como Usme, esta dinámica se manifiesta en la ocupación progresiva de áreas periféricas [12] con limitaciones ambientales, carencia de infraestructura y riesgos asociados a la urbanización no planificada. Estas condiciones reflejan un patrón consolidado de crecimiento urbano que combina presiones demográficas, déficit habitacional y una capacidad limitada de la planificación territorial para anticipar y gestionar la ocupación del suelo.

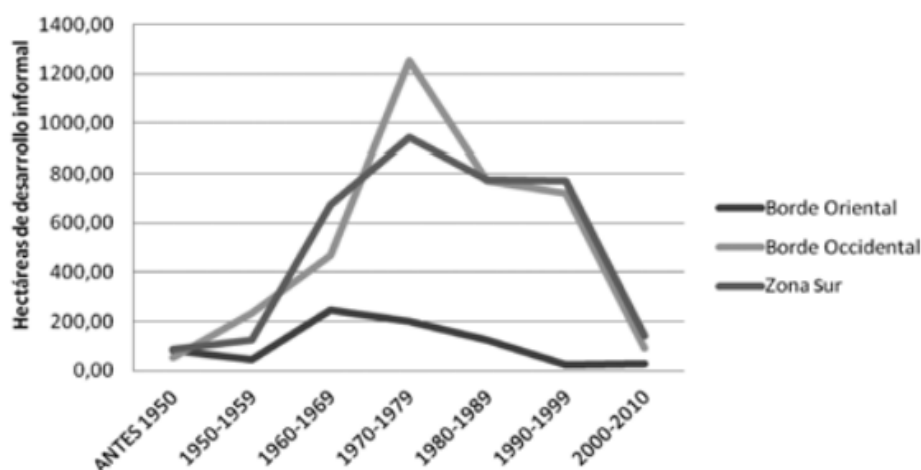


Figura 2. Crecimiento informal de décadas por zonas para la ciudad de Bogotá[12]

La Figura 2 muestra la expansión informal para la ciudad, se resalta que tanto el borde occidental como la zona sur registran un crecimiento acelerado desde la década de 1960, alcanzando su punto máximo en la década de 1970-1979. En contraste, el borde oriental presenta un crecimiento mucho más reducido en comparación con las otras dos zonas, aunque mantiene cierta continuidad en el tiempo. En el caso de Usme, ubicada en la zona sur, la tendencia evidencia que el mayor auge de urbanización informal se concentró en las décadas de 1970 y 1980, lo que coincide con la expansión acelerada de la ciudad hacia sus periferias como respuesta a la exclusión de amplios sectores de la población del mercado formal de vivienda [12]. Este patrón de crecimiento en Usme refleja la

lógica de ocupación del suelo periférico como una alternativa de acceso a la vivienda, aún bajo condiciones deficitarias.

El concepto de urbanización informal en Bogotá sigue siendo uno de los principales métodos de acceso al suelo y a la vivienda, que ha llevado a las zonas más al sur de la ciudad (Ciudad Bolívar, Usme, Tunjuelito, Rafael Uribe y San Cristóbal) a presentar un mayor crecimiento informal [13]. La Secretaría de Hábitat identifica cuatro grupos de ocupación irregular: consolidada, en proceso de consolidación, lotes e invasiones provisionales. Dentro de las localidades de la capital colombiana, Usme, según Camacho Ramírez [14], es una de las localidades de Bogotá con mayores asentamientos informales que, junto a la localidad de Ciudad Bolívar, representan el 59% de los asentamientos de la ciudad, donde el 28% de este valor representa a la localidad de Usme. Las zonas de Ciudad Bolívar y Usme presentan un patrón de crecimiento vinculado con la expansión general de la ciudad hacia el borde sur [12].

Para Usme, en el 2012, eran las UPZ Flora, La Gran Yomasa, Comuneros y Alfonso López, aquellas que presentaban la mayor informalidad de la localidad, esto teniendo en cuenta la imposibilidad de una adecuada planeación [15], lo que genera una carencia de malla vial, infraestructura de servicios públicos, zonas de equipamiento de salud, educación, recreativas, entre otros, lo que hace que lograr una adecuada planeación del territorio y poder garantizar la calidad de vida de los habitantes de esta localidad, representa un reto de gran importancia para la Alcaldía de Bogotá. Estas localidades representan el 31.65% del territorio propio de la localidad [16].

Usme es una localidad ubicada al sur de Bogotá D.C. (Colombia). Tiene una población aproximada de 340,101 habitantes. En los últimos años, esta localidad ha experimentado un crecimiento demográfico ocasionado principalmente por la migración interna, generando un crecimiento urbano descontrolado. Este fenómeno ha generado nuevas y crecientes demandas en áreas clave. Según el Censo Nacional del 2018 [17], para la localidad de Usme se prevé un incremento poblacional de por lo menos un 14% para el año 2024, así mismo, las proyecciones del DANE para la población de Bogotá, que incluyen la localidad de Usme, indican que este rápido aumento demográfico se proyecta a factores como la migración (con un aumento de 2.8% entre el 2017 y el 2021, pasando a ser la octava localidad con mayor población migrante en Bogotá [18]) y

crecimiento natural de la población, lo cual ha ejercido una presión significativa sobre los servicios públicos esenciales, como el suministro de agua, energía eléctrica y la recolección de residuos.

A pesar de este crecimiento descontrolado, aún carecen de las condiciones plenas de infraestructura y equipamientos públicos. Estos desafíos se ven agravados por la expansión de asentamientos informales, que se desarrollan sin una adecuada planificación y carecen de la infraestructura básica necesaria para garantizar una calidad de vida adecuada. Según la Secretaría Distrital del Hábitat [19], en la actualidad se cuenta con 28.072 ocupaciones, de las cuales, las localidades de Ciudad Bolívar y Usme presentan la mayor cantidad de asentamientos humanos ilegales en la ciudad.

La planeación territorial con énfasis en la expansión urbana es un componente fundamental en el entendimiento del territorio y su ocupación, y una forma de abordar el riesgo de carencia de bienes y servicios esenciales para la población, así como la ocupación y presión ambiental sobre territorios protegidos ambientalmente. Los procesos de ordenamiento territorial son aún recientes en la mayoría de las ciudades latinoamericanas, en donde se evidencian importantes desigualdades socioespaciales, esto debido principalmente al rápido crecimiento urbano, haciendo que los territorios aún disponibles en las urbes se vuelvan cada vez más susceptibles a una ocupación desordenada, que impida a los entes actuar a tiempo en términos de planificación territorial [20]. Esta situación ha generado un crecimiento descontrolado hacia las zonas periféricas de las ciudades, que en muchas ocasiones se acentúa por la informalidad, haciendo que las desigualdades sociales y económicas se pronuncien cada vez más [21] .

El crecimiento descontrolado y desordenado trae consigo desafíos importantes respecto a la sostenibilidad, la acelerada demanda de viviendas asequibles, infraestructura viable, incluyendo servicios de transporte, servicios básicos y de empleo, que garanticen una reducción de la brecha social. Así, las urbes desempeñan un papel cada vez más importante en la lucha contra el cambio climático, porque a medida que se expanden sin control, aumentan su vulnerabilidad y amenaza [22]. Este escenario plantea el contexto actual de la localidad de Usme para la ciudad de Bogotá y por medio de este estudio se pretende analizar la dinámica de crecimiento urbano en la localidad de Usme, específicamente en las UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe, durante el período 2016-2025, mediante la interpretación de imágenes satelitales históricas en función de las variables de

crecimiento poblacional, ocupación urbana y su contraste con áreas de amenaza natural, las categorías de suelo de protección y los proyectos de equipamientos establecidos en el Decreto 555 de 2021, en el marco del Plan de Ordenamiento Territorial “*Bogotá Reverdece 2022-2035*”, con el fin de caracterizar el crecimiento urbano ocurrido sobre estas áreas.

El presente análisis se desarrolló mediante la caracterización multitemporal de imágenes satelitales comprendidas entre los años 2016 y 2025, con el fin de identificar y evaluar la dinámica de crecimiento urbano en las UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe. Posteriormente, se realizó un análisis espaciotemporal que permitió validar los patrones de expansión identificados y determinar las tendencias de ocupación del territorio. Luego, se efectuó un contraste con los lineamientos de crecimiento y uso del suelo establecidos en el Plan de Ordenamiento Territorial “*Bogotá Reverdece 2022–2035*” y en el Decreto 555 de 2021, con el propósito de caracterizar la ocupación o intervención sobre áreas protegidas, zonas de amenaza y proyectos de equipamiento urbano. Finalmente, se estableció el conflicto de las áreas urbanizadas con lo establecido por el POT referente a los equipamientos. Este enfoque integral permitió comprender las transformaciones territoriales recientes, así como generar insumos técnicos orientados al fortalecimiento de la gestión y planificación urbana en la localidad de Usme.

En este contexto, surge la necesidad de analizar con precisión la expansión reciente en las UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe, así como su relación con los lineamientos normativos del POT vigente. Esto lleva a formular la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo ha sido la dinámica de crecimiento urbano informal en las UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe entre 2016 y 2025, y cómo se relaciona con la ocupación de áreas protegidas, suelos de amenaza y proyectos de equipamiento definidos en el POT “Bogotá Reverdece 2022–2035”?

Es importante aclarar que si bien esta investigación no tiene por objetivo formular estrategias de intervención ni lineamientos de política pública, los resultados generan insumos técnicos relevantes para entidades distritales como la Secretaría de Planeación, la Secretaría del Hábitat y el IDIGER, al identificar zonas de expansión informal recientes, conflictos con áreas protegidas y patrones espaciotemporales que requieren priorización en procesos de planificación, regularización y gestión del riesgo.

3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

El crecimiento demográfico y la expansión urbana son fenómenos que han transformado las ciudades en todo el mundo. Bogotá no ha sido ajena a esta dinámica, el crecimiento urbano de la ciudad inició en el siglo XX debido principalmente a 4 factores principalmente, en primer lugar, el desarrollo de los ferrocarriles, las vías, los medios de transporte y los equipamientos metropolitanos, en segundo lugar, la implementación de energía eléctrica, en tercer lugar, la generación de empleo por medio de las industrias, y finalmente, los barrios obreros y el crecimiento demográfico [23]. Según un informe dado por el DANE, las grandes capitales del país ya superan el 90% del nivel de urbanización, mostrando, que en ciudades como Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla se presentó un aumento en más de 100 mil viviendas en áreas urbanas entre los censos 2005 y 2018, mientras que el crecimiento de las zonas rurales fue inferior a 30 mil viviendas [24].

De acuerdo con Fedesarrollo, se prevé que para el 2050 el 70% de la población de Colombia habite en áreas urbanas. En los últimos 30 años, el país tuvo un aumento poblacional 1,6 veces, mientras que la huella urbana creció 2,1 veces en promedio, evidenciando un aumento significativamente superior de la huella urbana que el crecimiento poblacional. Adicionalmente, se observó que para las ciudades y aglomeraciones de más de 100 mil habitantes el 74% del crecimiento se dio en suelo previsto para tal desarrollo, es decir que de las 132 mil hectáreas que se adicionaron al paisaje urbano 97 mil hectáreas estaban previstas en suelo urbano o de expansión, sin embargo, es importante destacar que 35 mil hectáreas fueran ocupadas como suelo no planeado para este tipo de desarrollo. Bogotá, por ejemplo, presenta una huella urbana de crecimiento en 35% de su suelo urbano, 10% en suelo de expansión y 55% en suelo rural, es decir, que la mayoría del crecimiento se dio en un suelo no apto para albergar este tipo de desarrollo y la capacidad de control frente al fenómeno fue baja [25].

3.1 Gobernanza inteligente, analítica urbana y planeación basada en datos para el análisis del crecimiento urbano

En las últimas décadas la complejidad, la velocidad y la extensión de los procesos de transformación urbana han exigido enfoques que combinen herramientas técnicas, evidencia empírica y nuevos arreglos institucionales. En este marco, tres ejes conceptuales resultan especialmente relevantes para comprender y orientar la gestión del crecimiento territorial: la

gobernanza inteligente, la analítica urbana y la planeación basada en datos. La gobernanza inteligente aporta el marco institucional y participativo que condiciona cómo se usan los datos y la tecnología en la toma de decisiones; la analítica urbana ofrece las técnicas y métodos para transformar imágenes satelitales, sensores y registros urbanos en conocimiento válido y reproducible; y la planeación basada en datos constituye la práctica normativa y estratégica que orienta políticas de uso del suelo, protección ambiental y gestión del riesgo a partir de dicha evidencia.

3.1.1 Gobernanza Inteligente (Smart Governance)

El proceso mediante el cual los gobiernos nacionales, regionales y locales, junto con diversos actores sociales y privados, definen cómo gestionar y orientar el desarrollo de las áreas urbanas se conoce como gobernanza urbana [26]. Desde esta perspectiva, la gobernanza urbana implica una transición desde un modelo estatal centralizado hacia esquemas en los que el Estado comparte capacidades y responsabilidades con otros actores, adoptando un rol de articulador y facilitador de alianzas estratégicas que favorecen la coordinación y reducen conflictos entre los involucrados [27].

No obstante, diversos autores señalan que la atención no debe centrarse únicamente en los procesos de gobernar, sino en los desafíos urbanos urgentes que enfrentan las ciudades contemporáneas, como el crecimiento acelerado, la expansión descontrolada del suelo, la limitada capacidad estatal para monitorear su territorio, las desigualdades sociales o la provisión insuficiente de recursos básicos, los cuales constituyen el verdadero “qué” de la gobernanza urbana [28], [29]. Desde esta perspectiva, los problemas urbanos determinan los contenidos y objetivos de la gobernanza y exigen la acción efectiva de múltiples actores políticos y comunitarios para ser abordados [30].

En paralelo, un cuerpo creciente de literatura ha vinculado la gobernanza urbana con la digitalización, dando origen al concepto de gobernanza inteligente (smart governance) [31]. Varios estudios han demostrado que la integración entre e-government y tecnologías de información permiten interconectar e integrar datos, procesos e instituciones para mejorar la prestación de servicios y las decisiones urbanas [32]. Para algunos autores, la gobernanza inteligente media diversas dimensiones de la ciudad a través de TIC, favoreciendo la integración de sistemas urbanos complejos [33]. Desde otra perspectiva, se enfoca en mejorar la capacidad de toma de decisiones

basada en datos, destacando la importancia de recolectar, analizar y modelar grandes volúmenes de información urbana [34]

Otros autores amplían esta visión, proponiendo que la gobernanza inteligente también debe fortalecer estructuras administrativas abiertas, participativas y orientadas a la colaboración entre actores con el fin de mejorar la calidad de vida y el desempeño económico y social de la ciudad[31], [35]. Una revisión sistemática realizada en 2016 identificó cuatro formas de gobernanza inteligente: gobierno de la ciudad inteligente, toma de decisiones inteligente, administración inteligente y colaboración urbana inteligente. Todas evidencian un desplazamiento progresivo del poder hacia actores no estatales, gracias al uso estratégico de la tecnología [36]

No obstante, diversos estudios alertan que un enfoque excesivamente tecnocrático puede generar una visión sesgada de la ciudad, ignorando elementos sociales, políticos e históricos que condicionan tanto la efectividad de las tecnologías como la manera en que los actores interactúan con ellas [37], [38]. Por ello, algunos autores recomiendan que la gobernanza inteligente se conciba como una práctica sociotécnica, que reconozca cómo las características contextuales moldean la adopción y eficacia de las soluciones digitales [36].

Aunque esta tesis no aborda la gobernanza urbana como eje central, los enfoques de gobernanza inteligente, analítica urbana y planificación basada en datos ofrecen un marco conceptual pertinente para comprender el papel que la información geoespacial y el análisis territorial pueden desempeñar en los procesos de gestión y planificación del territorio. En este sentido, el trabajo desarrollado constituye una fase inicial basada en evidencia, orientada a caracterizar la dinámica del crecimiento urbano mediante datos satelitales y análisis espaciotemporal. Este tipo de análisis sienta las bases para que investigaciones posteriores, o etapas más avanzadas de planificación, puedan integrarse con instrumentos de política pública y procesos de decisión propios de la gobernanza urbana, especialmente en contextos donde la gestión del suelo, el monitoreo del crecimiento y la protección ambiental requieren sistemas de información robustos y oportunos.

3.1.2 Analítica urbana

La analítica urbana se ha consolidado en la última década como un campo interdisciplinario que combina métodos de análisis espacial, estadística avanzada, ciencias de la computación y

planeación urbana para comprender e intervenir en las dinámicas territoriales. Tradicionalmente, los planificadores y responsables de políticas públicas han recurrido a estudios cuantitativos para predecir patrones urbanos y orientar el desarrollo. Sin embargo, la disponibilidad masiva de datos urbanos y el avance de nuevas metodologías han impulsado la transición hacia un enfoque más amplio, conocido como *urban analytics* [39].

En términos generales, la analítica urbana se define como un conjunto de flujos cuantitativos para recolectar, procesar y analizar datos en un contexto espacio-temporal, aplicando estadística, aprendizaje automático y modelación computacional a problemas urbanos. La literatura suele emplear de manera intercambiable los términos *urban data science* y *urban analytics* [40], enfatizando su naturaleza transversal y su rol como puente entre los estudios urbanos y las ciencias de datos.

Si bien la analítica urbana se originó en enfoques deductivos (modelos espaciales agregados y de equilibrio), su evolución reciente se ha orientado hacia metodologías inductivas, donde los datos adquieren un papel central para derivar patrones y teorías emergentes. Este cambio ha sido impulsado por la disponibilidad de grandes volúmenes de datos espacio-temporales y por el desarrollo de técnicas de aprendizaje automático capaces de descubrir relaciones complejas en fenómenos urbanos. El principal desafío actual radica en pasar de tareas descriptivas simples hacia contribuciones que influyan críticamente en la teoría urbana, las políticas públicas y problemáticas complejas como la desigualdad o la injusticia territorial [39]

Investigadores y profesionales tienen hoy acceso a una abundancia de datos espaciotemporales, muchos de ellos generados por usuarios o captados pasivamente, tal como las imágenes provenientes de los satélites Sentinel 1 y Sentinel 2, que pueden modelarse computacionalmente para generar conocimiento sobre las ciudades y sus habitantes, así como para construir herramientas predictivas y tableros de monitoreo para guiar procesos urbanos [41]

En coherencia con ello, este trabajo se apoya en los principios de la analítica urbana para desarrollar un enfoque de análisis territorial basado en datos geoespaciales y observación satelital. Esta aproximación busca demostrar cómo la integración de información espacial, técnicas de

procesamiento digital y modelos de análisis permite generar diagnósticos más precisos sobre la dinámica urbana y territorial de las UPL de Rafael Uribe y Usme Entrenubes en la localidad de Usme para la ciudad de Bogotá D.C. Si bien este estudio se centra principalmente en las capacidades técnicas de la analítica urbana, sus resultados constituyen una primera etapa necesaria para futuras articulaciones con marcos de planificación y gobernanza territorial, en los que estos insumos puedan respaldar la formulación de políticas, la gestión del territorio y la toma de decisiones informada.

3.1.3 Planeación basada en datos

La planeación basada en datos constituye un enfoque central dentro de los marcos contemporáneos de ciudades inteligentes y sostenibles, y se fundamenta en la capacidad de generar, integrar, procesar y analizar grandes volúmenes de información urbana para apoyar la toma de decisiones en distintos niveles de gestión territorial. Desde esta perspectiva, la disponibilidad de datos heterogéneos permite comprender de manera más precisa el funcionamiento urbano y orientar intervenciones estratégicas [42], [43], [44].

Este enfoque se enmarca en la idea de *data-driven smart sustainable cities*, cuyo propósito es “obtener la cantidad adecuada de datos, en el lugar correcto y desde la fuente correcta, para tomar decisiones estratégicas bien informadas y basadas en evidencia” [45], [46] La planeación basada en datos se articula así con procesos clave como el establecimiento de metas, la generación y procesamiento de datos, la modelación y simulación, el diseño urbano y la participación pública.

En términos operativos, la planeación urbana data-driven integra herramientas como modelos de simulación, análisis geoespacial, monitoreo ambiental, análisis de patrones de movilidad, proyección de impactos territoriales y sistemas de información geográfica (GIS), los cuales permiten evaluar escenarios futuros y anticipar efectos en materia económica, ambiental y social. Por ejemplo, los GIS pueden representar el sistema urbano existente y proyectar los impactos de cambios en infraestructura o usos de suelo sobre variables ambientales y económicas[47].

Un componente fundamental de la planeación basada en datos es el desarrollo de urban computing, entendido como el proceso de generar, integrar y analizar grandes volúmenes de datos provenientes de sensores, plataformas digitales, sistemas de transporte, redes de comunicación, infraestructura

urbana y dispositivos distribuidos [33] [48], [49]. Su objetivo es producir información procesable que permita mejorar la eficiencia, resiliencia, equidad y sostenibilidad de las ciudades “al aprovechar diversos tipos de datos urbanos para generar conocimientos profundos que mejoren la toma de decisiones”[50].

A su vez, la planeación basada en datos se articula con el concepto de *urban intelligence*, entendido como el ecosistema de analítica de datos que soporta la interoperabilidad entre recursos y tecnologías, facilitando la integración de sistemas urbanos y la coordinación entre dominios como movilidad, energía, ambiente, servicios y planificación territorial[45]. La inteligencia urbana se orienta a transformar datos en conocimiento accionable mediante modelos avanzados de simulación, optimización y sistemas inteligentes de soporte a la decisión, permitiendo decisiones más oportunas, eficientes y alineadas con objetivos de sostenibilidad a largo plazo.

En este contexto, los Decision Support Systems (DSS) constituyen un componente operativo clave. Un DSS integra datos, modelos, documentos y conocimiento experto para apoyar decisiones en problemas urbanos complejos, cambiantes o poco estructurados [51]. En el ámbito urbano, estos sistemas se emplean en tareas como análisis de movilidad, gestión del tráfico, planificación energética, monitoreo ambiental, seguridad pública o asignación de servicios. Los DSS pueden adoptar formas data-driven, document-driven, knowledge-driven o model-driven, facilitando procesos iterativos de interacción entre sistemas y tomadores de decisiones, donde ambas partes refinan y validan continuamente las soluciones propuestas [51].

La planeación basada en datos, por tanto, no reemplaza la planeación estratégica ni la sustentabilidad como marcos conceptuales, sino que los complementa, proporcionando evidencia empírica, herramientas analíticas y capacidad predictiva para enfrentar los retos derivados de la urbanización, la presión sobre los sistemas territoriales y la necesidad de transitar hacia modelos urbanos más equitativos y sostenibles. Este enfoque resulta especialmente relevante en contextos donde se requiere anticipar cambios territoriales, optimizar el uso de recursos, reducir impactos ambientales y mejorar la toma de decisiones públicas mediante información verificable y actualizada.

En conjunto, los enfoques de gobernanza inteligente, analítica urbana y planificación basada en datos proporcionan el marco conceptual que guía esta investigación. El uso de imágenes satelitales, análisis espaciotemporales y contraste con instrumentos normativos permite comprender la dinámica del crecimiento urbano en Usme desde una perspectiva integral que articula tecnología, planificación y sostenibilidad territorial.

3.2 Análisis de imágenes satelitales para evidenciar expansión territorial

Es así, como la expansión irregular y espontánea presentada en Bogotá D.C. en los últimos años, ha tenido impactos ambientales, urbanísticos y de afectación de elementos naturales. Específicamente la localidad de Usme presenta un “ecosistema” estratégico para el desarrollo urbano, al tener amplias áreas rurales que se integran con las urbanas. La relación de Bogotá con esas zonas de “borde” adquiere una relevancia muy importante que presenta una tensión entre lo urbano y lo rural, teniendo en cuenta que de las 21.506 hectáreas que componen la localidad, el 5,54% corresponde a suelo urbano, en relación con un 15,08% del suelo rural, y un 30,32% está siendo destinada a la expansión urbana [52].

3.2.1 Antecedentes internacionales

Diversos estudios han logrado evaluar la evolución espacio temporal basadas en datos espectrales provenientes de imágenes satelitales:

- El primero de ellos es un estudio llevado a cabo en las ciudades de Guangdong, Hong Kong y Macao en China, que analizó la evolución espacio temporal desde 1995 hasta 2020, basados en “MultiSource Nighttime Lights” e información espectral diversa. Los cuales indicaron patrones de crecimiento hacia el nor-occidente y sur-oriente de las aglomeraciones urbanas que proporcionan conjunto de datos valiosos, apoyo técnico y herramientas para la toma de decisiones que permitan el desarrollo de ciudades sostenibles [8], la información base fue tomada de NOAA /NGDC desde 1995 – 2012 y de NPP -VIIRS NTL del 2013 al 2020.
- El segundo estudio analizó la expansión urbana y la cobertura plástica verde (Green Plastic Cover (GPC)), la cual es ampliamente usada en China en las construcciones para mitigar el efecto del polvo, que da un indicativo en la ciudad sobre la intensidad de construcción urbana. El objetivo de este estudio fue presentar un marco de detección de patrones de desarrollo urbano basados en mapas GPC de alta resolución basados en Google Earth Engine (GEE), en la provincia de Shandong desde el 2018 hasta el 2022, combinando características espectrales de series temporales y texturales de imágenes derivadas de Sentinel – 1 y Sentinel – 2 proporcionados por GEE, se determinó una precisión de 89.7%, lo cual tiene suficiente precisión [7]

- Adicionalmente, en China analizó la expansión urbana en los centros urbanos del Oeste de China examinó la expansión urbana basándose en GE, imágenes de teledetección, modelos de expansión urbana y análisis de la ubicación de los buffers y cuadrantes en el Sistema de Información Geográfica (SIG). Los resultados indican que la superficie urbana aumentó más de 5.6 veces, alcanzando 124.723 ha, un aumento de más del 400% durante 1990-2020. La tasa e intensidad de la expansión urbana aumentó significativamente y exhibieron heterogeneidad espacio temporal, los factores que marcan un mayor crecimiento son el desarrollo económico, la población y la urbanización. El GEE proporciono un algoritmo de procesamiento geográfico lo que implica que la teledetección es una herramienta de gran importancia actualmente, ayudando a los entes gestores a formular políticas, que permitan mejorar la gestión y un desarrollo sostenible del suelo urbano [53].
- En el Estado de Hidalgo en México, se desarrolló un estudio que determinó el crecimiento urbano mediante imágenes Landsat del 2000 al 2014, analizando el cambio de suelo como un componente relevante en las 13 variables de influencia climática. El estudio adoptó la metodología general de Jensen (2005) para extraer información temática sobre el uso del suelo a través de sensores remotos. A partir de dicha imagen estatal se obtuvieron polígonos representativos del área de interés (zonas urbanas) y se generó una imagen ráster con las zonas urbanas a través del método supervisado de clasificación por Máxima Verosimilitud en el software ERDAS Imagine®. Las imágenes Landsat utilizadas (resolución espacial de 30 m por píxel) permitieron cartografiar 103 polígonos urbanos en el territorio estatal para el año 2000 y 123 polígonos para el año 2014. El estudio permitió inferir el crecimiento urbano del Estado de Hidalgo la cual creció 7230,32 ha del 2000 al 2014. Esto representa un incremento de la tercera parte de la superficie urbana durante diez años en la Zona Metropolitana del Valle del México y permitió identificar las zonas con mayor tasa de expansión urbana en Hidalgo [54].

A diferencia de los estudios previos sobre crecimiento urbano en diferentes partes del mundo, que se han centrado principalmente en análisis y en la evaluación de la imagen espectral sin el acople con políticas de ordenamiento, la presente investigación aporta un enfoque metodológico integral al combinar la caracterización multitemporal de imágenes satelitales, el análisis espaciotemporal mediante el cubo de datos y la evaluación normativa del POT “Bogotá Reverdece 2022–2035”.

Esta integración permite vincular la dinámica de crecimiento urbano con factores de amenaza, legalidad y planeación territorial, generando una lectura más precisa de los patrones de crecimiento informal y su interacción con los suelos de protección y proyectos estratégicos de ciudad. En consecuencia, el estudio representa un aporte innovador para la gestión territorial de Usme, al ofrecer una herramienta analítica replicable que contribuye a la toma de decisiones informadas en planificación urbana y al fortalecimiento de políticas de control y mitigación de la expansión no planificada.

3.2.2 Diagnóstico e inferencia satelital basado en imágenes

La detección de la expansión urbana a través del procesamiento digital de imágenes satelitales proporciona información relevante de la dinámica de ciudades respecto a la ocupación del suelo y su huella de expansión. Estas herramientas de visualización permiten generar políticas efectivas de planeación territorial, que permita evidenciar la huella de expansión de asentamientos urbanos [54].

El programa Copernicus tiene planificadas cinco misiones [55]:

- La primera fue la misión de satélites Sentinel 1, que busca generar teledetección por radar, comprende una constelación de dos satélites en órbita polar, que operan día y noche y realizan observaciones de apertura sintética en banda C. Las principales áreas temáticas de esta misión es el monitoreo terrestre, marítimo y gestión de emergencias.
- La segunda fue la misión de satélites Sentinel 2, comprende una constelación de dos satélites en órbita polar colocados en la misma órbita helio-sincrónica, con un ángulo de 180° entre sí, estos satélites buscan generar teledetección de óptica. Esta misión se basa principalmente en el monitoreo terrestre, gestión de emergencias, seguridad y cambio climático.
- La misión Sentinel-3 transportará varios instrumentos para llevar a cabo una larga serie de estudios de la Tierra y de sus océanos.
- Las misiones Sentinel-4 y Sentinel-5 medirán la composición de la atmósfera desde la órbita geoestacionaria y una órbita polar, respectivamente.

La misión Sentinel-2 se basa en una constelación de dos satélites idénticos situados en la misma órbita polar, con un desfase de 180° entre sí, para optimizar la cobertura. Está diseñada para

proporcionar una alta frecuencia de revisita de 5 días en el Ecuador. El satélite Sentinel-2A se lanzó al espacio el 23 de junio de 2015 y el Sentinel-2B el 7 de marzo de 2017. La vida útil de cada uno de los satélites se estima en 7.25 años. La órbita de la misión Sentinel-2 está sincronizada con el Sol (es de tipo helio-síncrona), permitiendo garantizar que el ángulo de la luz solar sobre la superficie de la Tierra se mantenga aproximadamente constante [55].

La cobertura de la misión (entre las latitudes 56° sur y 84 ° norte), junto con el gran campo de visión, que abarca un ancho de franja orbital de 290 km, y su alta frecuencia de revisita, de 10 días en el ecuador con un satélite y 5 días con dos satélites en condiciones sin nubes, facilitan el seguimiento y supervisión de la variabilidad de las condiciones de la superficie terrestre a partir de la producción de información geoespacial a escala local, regional, nacional e internacional, cubriendo la superficie terrestre, grandes islas y aguas costeras. Cada uno de los satélites gemelos está equipado con un instrumento óptico multispectral (MSI, Multispectral Instrument) que permite capturar datos de 13 bandas espectrales: cuatro bandas con una resolución espectral de 10 m, seis bandas de 20 m y tres bandas de 60 m. Estas bandas proporcionan datos para la clasificación de coberturas, cambios de la Tierra, correcciones atmosféricas y separación de nubes / nieve. Los datos están diseñados para ser modificados y adaptados a usuarios finales interesados en aplicaciones en áreas temáticas tales como: la ordenación del territorio, la supervisión de bosques y de vegetación, seguimiento global de evolución de cultivos y de recursos naturales, como el carbono, y de la cobertura de aguas [55].

Resolución espacial Sentinel 2, espectral y radiométricas

La resolución espacial de cada una de las bandas y que se resume en:

- 4 bandas a 10 m: banda 2, banda 3, banda 4 y banda 8.
- 6 bandas a 20 m: banda 5, banda 6, banda 7, banda 8a, banda 11 y banda 12.
- 3 bandas a 60 m: banda 1, banda 9 y banda 10.

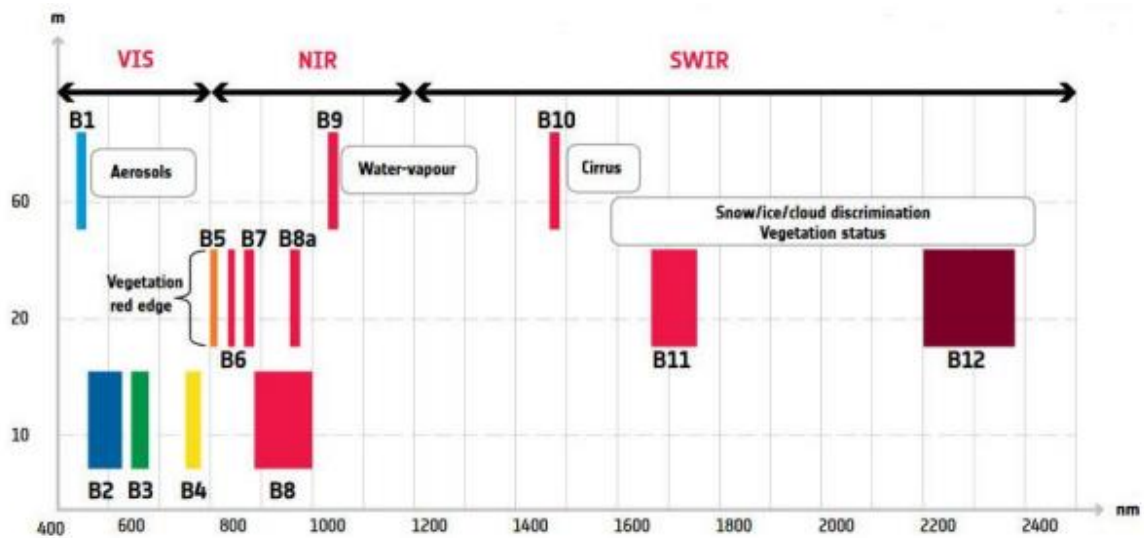


Figura 3. Bandas del satélite Sentinel [55]

Respecto a la resolución espectral, los datos de Sentinel 2 se relacionan mediante 13 bandas espectrales, tal como se muestra a continuación:

Banda Sentinel 2	Longitud de onda central (μm)	Resolución espacial (m)
Banda 1 – coastal aerosol	0.443	60
Banda 2 - azul	0.490	10
Banda 3 – verde	0.560	10
Banda 4 – rojo	0.665	10
Banda 5 – Vegetation Red Edge	0.705	20
Banda 6 – Vegetation Red Edge	0.740	20
Banda 7 – Vegetation Red Edge	0.783	20
Banda 8 – NIR	0.842	10
Banda 8A – Vegetation Red Edge	0.865	20
Banda 9 – Vapor de agua	0.945	60
Banda 10 – SWIR – cirros	1.375	60
Banda 11 – SWIR	1.610	20
Banda 12 - SWIR	2.190	20

Figura 4. Bandas espectrales Sentinel 2 [56]

Finalmente, la resolución radiométrica del instrumento MSI es de 12 bits, lo que permite adquirir la imagen en un rango de 0 a 4095 valores de intensidad de luz potencial.

Las aplicaciones con este conjunto de satélites son de gran importancia para fortalecer la toma de decisiones informadas en términos de planeación urbana y generar herramientas a las autoridades competentes que les permitan un mayor entendimiento territorial. En particular, el análisis de la

dinámica de crecimiento urbano de la localidad de Usme mediante patrones identificados en imágenes satelitales históricas desde 2016 hasta 2025, así como la comparación de las proyecciones de crecimiento urbano con lo establecido por el Plan de Ordenamiento Territorial 'Bogotá Reverdece 2022-2035', proporcionan una base sólida para la gestión del territorio y la gestión de emergencias, entre otros aspectos, situación que se evaluará y analizará en el presente documento.

3.2.1 Análisis cubo espaciotemporal

El análisis espacio-tiempo considera tanto la ubicación y el tiempo para determinar patrones y relaciones para proveer un mejor entendimiento del fenómeno geográfico. Los elementos pueden estar cerca en espacio, pero lejos en el tiempo, así que un patrón temporal puede no existir. Sin embargo, los elementos pueden estar cerca o lejos en el espacio, pero cerca en el tiempo, indicando un patrón que no sabía que existía. Así pues, esta técnica estadística permite integrar dimensiones espaciales (X, Y) y temporales (T) dentro de una estructura tridimensional. Cada celda del cubo (bin) representa la ocurrencia de un fenómeno en un lugar específico y en un intervalo de tiempo determinado, lo que posibilita identificar patrones de concentración, persistencia o cambio [57]. Este enfoque se basa en el estadístico de autocorrelación espacial G_i^* de Getis-Ord, el cual evalúa la significancia estadística de agrupamientos de valores altos o bajos a lo largo del tiempo, proporcionando una visión integral de la evolución del fenómeno analizado [58].

3.3 Plan de Ordenamiento Territorial

Bogotá definió el POT “Bogotá reverdece 2022 – 2035”, el cual se enmarca como una hoja de ruta que busca propender por el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes. En él se definen elementos locales del Modelo de Ocupación Territorial, que busca ordenar los territorios con mejor equivalencia poblacional y correspondencia con los determinantes ambientales, histórico y ambiental que garantice condiciones mínimas de proximidad, disponibilidad y diversidad de servicios territoriales, sociales y de cuidado, así como acceso a empleo. Todo esto debe ser accesible mediante desplazamientos en medios no motorizados o transporte público en un tiempo de entre 15 y 30 minutos [59].

Los objetivos que se buscan cumplir a través del POT a largo plazo son: proteger la estructura ecológica principal y los paisajes bogotanos y generar las condiciones de una relación más armoniosa y sostenible de la ciudad con su entorno rural; incrementar la capacidad de resiliencia

del territorio frente a la ocurrencia de desastres y derivados de la variabilidad y del cambio climático; mejorar el ambiente urbano y de los asentamientos rurales; revitalizar la ciudad a través de intervenciones y proyectos de calidad; promover el dinamismo, la reactivación económica y la creación de empleos; reducir los desequilibrios y desigualdades para un territorio más solidario y cuidador y alcanzar el desarrollo rural sostenible [59].

3.3.1 Antecedentes nacionales

Diversos estudios han abordado la expansión territorial con énfasis en las políticas de Planeación Territorial en Colombia, de los cuales se presentan a continuación aquellos considerados más pertinentes y relevantes para esta investigación:

El primero de ellos fue en Villavicencio, una ciudad intermedia que según el estudio se encuentra en un proceso de transición en términos urbanos, en donde el crecimiento de la ciudad se ha dado en forma fragmentada y desarticulada con la conformación de distintos núcleos poblacionales, fundados en su mayoría sobre la informalidad. En este sentido se tiene que para el año 1999 el 40% de los barrios de Villavicencio se encontraban en condición de informalidad, sin posibilidades reales de reconocimiento por parte de la autoridad de Planeación del Municipio. La situación hoy no ha cambiado y al contrario se ha agudizado, al punto que cerca del 60% de los asentamientos corresponden a la informalidad, la mayoría ubicados como se ha indicado sobre bienes ambientales protegidos y áreas de amenaza.

Del estudio se concluye que, el crecimiento poblacional y la rápida urbanización afectan significativamente el modelo de ordenamiento territorial, y es esencial abordar estas cuestiones con prioridad. La ciudad debe enfocarse en resolver problemas internos y externos, como la ineficiencia administrativa, la falta de políticas sociales para abordar las carencias habitacionales, y el acceso a créditos para vivienda digna. También es necesario controlar el mercado informal de vivienda, la actividad de urbanizadores piratas, la migración, la pobreza, el desempleo y la escasez de tierras urbanas. Los retos de la informalidad urbana requieren una posición clara respecto a las dimensiones sociales, urbanas, económicas y ambientales que limitan el modelo de gestión y la visión futura. Para entender la informalidad urbana, es necesario analizarla desde diferentes perspectivas, lo que ayudará a comprender la organización social del territorio y sus efectos en el crecimiento y desarrollo de Villavicencio o cualquier ciudad intermedia [60].

El segundo estudio realizó un análisis multitemporal de la expansión urbana de la ciudad de Popayán (Cauca) con el uso de imágenes Landsat desde 1989 hasta 2014, y lo comparó con la cobertura de construcciones durante el periodo analizado. Las conclusiones muestran que, en términos de expansión urbana, entre 1989 y 2014, la ciudad de Popayán se expandió 17.03 km², con una tasa de crecimiento de 0.68 km² por año. La expansión se debió principalmente a la construcción de la variante y al cambio de uso del suelo en la zona norte, anteriormente destinada a la producción ganadera. Las clases adineradas emigraron hacia la periferia, valorizando los predios suburbanos, incentivando la expansión urbana, mientras que en términos de cobertura vegetal se han presentado disminuciones considerables [61].

El tercer estudio, realizó un seguimiento de la expansión urbana en un periodo de tiempo de 14 años (2002 - 2016) en la localidad de Usme - Bogotá con imágenes satelitales LANDSAT a través de un estudio multitemporal y generó un diagnóstico general de la evolución y estado de los desarrollos informales y formales de la localidad de Usme - Bogotá, para finalmente realizar las clasificaciones del uso y la cobertura del suelo en de la zona de estudio, de acuerdo con los cambios producidos por el desarrollo y la expansión urbana, encontrando que la expansión urbana de la localidad de Usme - Bogotá ha tenido un crecimiento bastante acelerado durante el periodo analizado, dado que el crecimiento del área urbana fue de 702 Hectáreas lo que equivale a un aumento de 47.18% del área urbana que tenía la localidad en el año 2002 [72].

La validación de la expansión urbana mediante imágenes satelitales es crucial para una planificación territorial efectiva y la implementación de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT). Las imágenes satelitales permiten un análisis detallado y preciso de los cambios en el uso del suelo y la expansión urbana a lo largo del tiempo. Esto facilita la identificación de patrones de crecimiento, la evaluación del impacto ambiental y la planificación de infraestructuras y servicios públicos de manera más eficiente. Además, el uso de imágenes satelitales en la validación de la expansión urbana ayuda a monitorear y controlar el desarrollo informal, permitiendo a las autoridades tomar decisiones informadas para regular el crecimiento urbano y proteger los recursos naturales. La integración de estos datos en los POT y la planeación territorial asegura un desarrollo

urbano sostenible y equitativo, mejorando la calidad de vida de los habitantes y promoviendo la conservación del medio ambiente [62].

3.3.2 UPL Rafael Uribe

La UPL de Rafael Uribe se encuentra ubicada en el Suroriente de la ciudad. La UPL presenta dos sistemas geográficos distintos, por un lado, una zona plana que se extiende como una continuación de la sabana de Bogotá, donde se encuentran las zonas residenciales más antiguas de la UPL y otra zona de terreno accidentado, que se caracteriza por un crecimiento acelerado, desordenado, en donde se presencia explotación de canteras y presencia de zonas degradadas. Esta UPL se ubica en la falda de los cerros orientales, la cual atraviesa cuerpos de agua afluentes de la cuenca del Río Tunjuelo, así como áreas protegidas de montaña. Haciendo que precisamente, sean estos elementos los que dividen el territorio y condicionan su desarrollo, al mismo tiempo que generan amenazas asociados a eventos de avenida torrencial y remoción en masa [63].

El uso predominante de la UPL Rafael Uribe es residencial, sin embargo, la presencia de grandes áreas destinadas a infraestructuras urbanas, como La Picota, y espacios naturales protegidos, como el Parque Entrenubes, crea segmentos urbanos con barrios variados, algunos planificados y otros espontáneos. Aproximadamente, el 63.94% del territorio se destina a uso residencial, el 29.01% a áreas protegidas de la Estructura Ecológica Principal, y el 6.91% a equipamientos públicos. Es así como, la estructura urbana está segmentada debido a su topografía irregular y al desarrollo urbano de diferentes orígenes. La falta de claridad y conexiones en la infraestructura vial y de espacio público dificulta el acceso a servicios básicos y espacios de recreación para los residentes. Además, los trazados informales y los perfiles viales estrechos contribuyen a la falta de continuidad en el territorio, lo que obliga a los residentes a realizar largos desplazamientos para acceder a servicios básicos y de cuidado [63].

El crecimiento de la población y la fragmentación urbana afectan la distribución de servicios en Rafael Uribe. Actualmente, existe un potencial de crecimiento en equipamientos de 2.37 m² por habitante para alcanzar el estándar recomendado de 3.17 m². Es esencial abordar esta situación para satisfacer las necesidades sociales y de cuidado de la población, promoviendo la calidad de vida y la equidad territorial. Se dará prioridad a la atención de jóvenes, adultos, poblaciones vulnerables y grupos étnicos. Además, se busca aumentar la oferta de equipamientos en salud, integración social, cultura, deporte y servicios de emergencia [63]. Es así, como se proyectan ciertos proyectos esenciales para la UPL, entre ellos:

3.3.2.1 Estructura local en la UPL Rafael Uribe

La UPL Rafael Uribe se caracteriza por promover un desarrollo equilibrado y sostenible, en armonía con el entorno natural, cultural y comunitario. Se busca fortalecer las comunidades mediante la reactivación económica y la preservación de fuentes hídricas, conectando las quebradas La Chiguaza y La Olla con el Parque Entrenubes y el Cerro Juan Rey. También se pretende conservar el patrimonio, como la Hacienda Los Molinos, y revitalizar los espacios verdes. El objetivo del POT es pasar de 3.34 m² EPE/habitante en el presente a 4.1 m² EPE/habitante en 2035, por medio de intervención a ciclo-infraestructura de 1.91 km a 7.03 km en 2035 y el aumento de entornos productivos locales.

La movilidad activa es prioritaria, implementando calles completas para conectar barrios como San Lacia, Diana Turbay, Danubio, Marruecos, La Paz, Molinos y La Fiscal con servicios sociales y de cuidado, destacando las manzanas del cuidado de La Aurora. Además, se busca crear nuevos espacios públicos de calidad que fomenten la conectividad y provean equipamientos para satisfacer las necesidades de la comunidad. La reactivación económica sostenible es otro aspecto clave, enfatizando la creación de un entorno urbano inclusivo y dinámico, donde los espacios verdes, la sostenibilidad y el bienestar de la comunidad son fundamentales para su desarrollo.

En cuanto a equipamientos se proyecta una manzana del Cuidado en La Aurora. Se fortalecerá la red de equipamientos con redes peatonales seguras. Complementariamente, se modernizarán equipamientos en deterioro para optimizar el espacio y mejorar las condiciones. La visión es dispersar servicios educativos, seguridad social y cultura cercanos a los residentes, creando espacios asociados a corredores ambientales. La recuperación del sistema hídrico de las quebradas

3.3.2.2 Conector vital y de proximidad de la Estrella y el Zuque_Tramo II

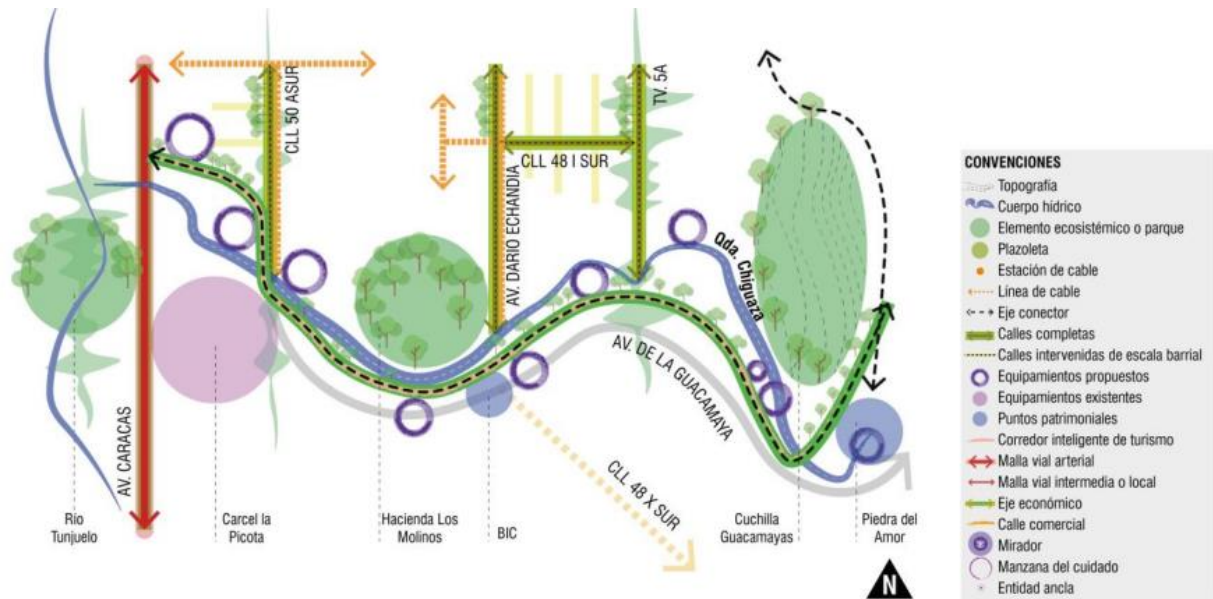


Figura 7. Esquema Conector vital y de proximidad de La Estrella y El Zuque – Tramo II [63]

Con un área proyectada de 45.03 hectáreas, este proyecto busca consolidar a 2027 un corredor turístico a lo largo de las quebradas La Fiscala, Santa Librada, Morales, La Chiguaza y la Hoya del Ramo. Se pretende rehabilitarlas, reforestarlas, renaturalizarlas y revitalizarlas mediante la siembra de árboles y una restauración ecológica integral. Además, se generarán corredores de protección para las quebradas del territorio a través de procesos de reforestación, y se construirán huertas urbanas, parques infantiles y puentes peatonales. Aprovechando los miradores de La Resurrección, se crearán condiciones para el desarrollo del turismo en el área donde se encontraba la ladrillera Los Chircales, en el barrio Marco Fidel Suárez. El proyecto contempla la creación de nuevos parques y plazas para el encuentro comunitario, así como la implementación de “calles completas” a lo largo del corredor hídrico, que ofrecerán actividades y permitirán disfrutar de las vistas naturales de la zona. También se establecerá como un corredor de movilidad sostenible para la recreación y el turismo [63].

3.3.2.3 Conector vital y de proximidad del Infierno a la Arboleda – Tramo II, de revitalización y cuidado Diana Turbay y de proximidad Hoya del Ramo

El proyecto de conector ecológico y de movilidad activa, lineal y segura, tiene como objetivo crear un recorrido que integre servicios sociales y de cuidado a lo largo de la quebrada La Olla y los parques del sector de Palermo Sur. Este conector enlazará las UPL de Lucero y San Cristóbal,

permitiendo que la comunidad se exprese y celebre su cultura en espacios al aire libre. El tramo II del proyecto, correspondiente a la UPL Rafael Uribe, incluye diversas acciones para mejorar la calidad de vida de los habitantes y del sector [63].

Adicionalmente, se prevé la intervención del proyecto Conector Vital y de Proximidad de La Estrella y El Zuque y el parque Estructurante Diana Turbay que a su paso proporcionará espacios al aire libre donde la comunidad podrá expresarse y enaltecer su cultura. El proyecto propone la recualificación del Barrio Diana Turbay a través de la configuración de calles completas que estructurarán la reactivación económica, cultural y la red del cuidado en el sector, al mismo tiempo que facilitarán el acceso al transporte [63].

Finalmente, el ambicioso proyecto del conector ecológico Hoya del Ramo y de movilidad activa en la UPL Rafael Uribe busca transformar significativamente la experiencia urbana de la comunidad, brindándoles espacios seguros, verdes y dinámicos a lo largo del recorrido. Este proyecto tiene una importancia destacada, ya que no solo busca mejorar la infraestructura vial y peatonal, sino que también busca conectar y enaltecer la identidad cultural de la zona. En la etapa II del proyecto, que abarca la UPL Rafael Uribe, se llevarán a cabo diversas acciones para mejorar la calidad de vida de los habitantes y del sector en su conjunto. Una de las metas es la recuperación, rehabilitación y restauración de varias quebradas y afluentes, como la quebrada La Hoya del Ramo y La Fiscala, con el fin de mejorar la calidad del recurso hídrico y crear espacios naturales seguros que fomenten la protección del medio ambiente [63].

3.3.2.4 Red de miradores del sur – Tramo I y II y calles complementarias de acceso a Santa Lucía

Este proyecto se centra en la creación de un sistema de miradores en el cerro Guacamayas del Parque Entrenubes, con el fin de conectar a las comunidades con su entorno y fomentar la apreciación de la naturaleza y el ecosistema. Mediante la ubicación estratégica de miradores en puntos panorámicos clave, se pretende ofrecer a los visitantes, vistas impresionantes, para asegurar el uso adecuado de los espacios públicos, revitalizar las áreas y promover una mayor comprensión de la importancia de conservar los recursos naturales [63].

Adicionalmente, se prevé la intervención del proyecto Conector Vital y de Proximidad de La Estrella y El Zuque y el parque Estructurante Diana Turbay que a su paso proporcionará espacios

al aire libre donde la comunidad podrá expresarse y enaltecer su cultura. El proyecto propone la recualificación del Barrio Diana Turbay a través de la configuración de calles completas que estructurarán la reactivación económica, cultural y la red del cuidado en el sector, al mismo tiempo que facilitarán el acceso al transporte.

Finalmente, el ambicioso proyecto del conector ecológico Hoya del Ramo y de movilidad activa en la UPL Rafael Uribe busca transformar significativamente la experiencia urbana de la comunidad, brindándoles espacios seguros, verdes y dinámicos a lo largo del recorrido. Este proyecto tiene una importancia destacada, ya que no solo busca mejorar la infraestructura vial y peatonal, sino que también busca conectar y enaltecer la identidad cultural de la zona. En la etapa II del proyecto, que abarca la UPL Rafael Uribe, se llevarán a cabo diversas acciones para mejorar la calidad de vida de los habitantes y del sector en su conjunto. Una de las metas es la recuperación, rehabilitación y restauración de varias quebradas y afluentes, como la quebrada La Hoya del Ramo y La Fiscala, con el fin de mejorar la calidad del recurso hídrico y crear espacios naturales seguros que fomenten la protección del medio ambiente [63].

Este proyecto se centra en la creación de un sistema de miradores en el cerro Guacamayas del Parque Entrenubes, con el fin de conectar a las comunidades con su entorno y fomentar la apreciación de la naturaleza y el ecosistema. Mediante la ubicación estratégica de miradores en puntos panorámicos clave, se pretende ofrecer a los visitantes, vistas impresionantes, para asegurar el uso adecuado de los espacios públicos, revitalizar las áreas y promover una mayor comprensión de la importancia de conservar los recursos naturales [63].

Finalmente, respecto a las calles de acceso a Santa Lucía el proyecto se basa en la red de calles de acceso al Barrio Santa Lucía y propone transformarlas en calles completas que brinden un entorno seguro para la conexión de los equipamientos educativos y deportivos locales. También se proyecta que estas calles sirvan como entrada y paso sobre el parque estructurante de Santa Lucía. El proyecto aprovecha la adquisición predial del Proyecto Avenida Ciudad de Villavicencio de la malla vial arterial para incorporar plazoletas de acceso al barrio y un sistema de parques culturales y lúdicos que marquen el acceso por el costado sur del barrio. Además, se estructura una red de

calles completas que priorizan la movilidad peatonal y en bicicleta, lo que potencia la consolidación económica del sector [63].

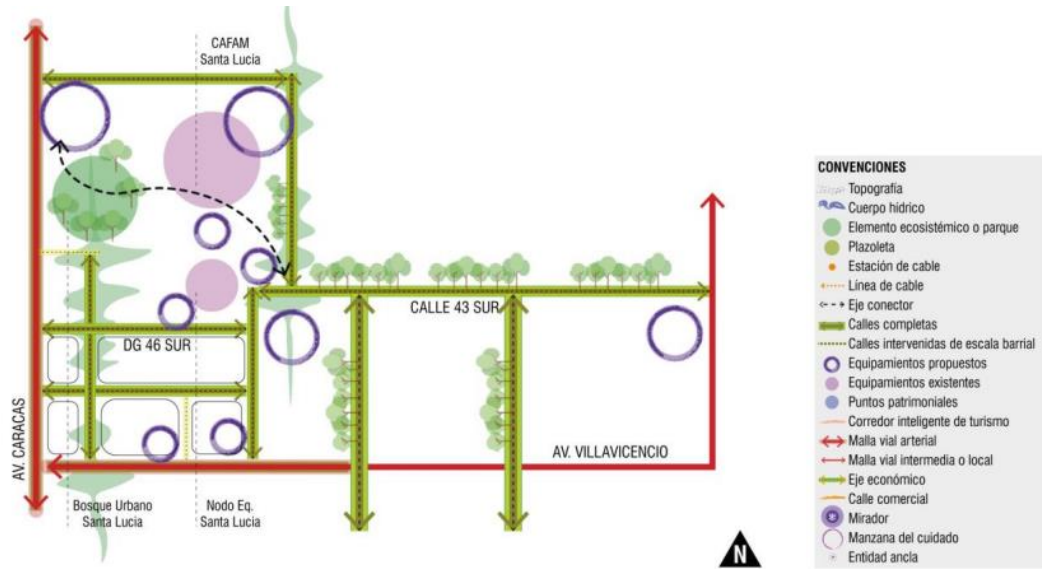


Figura 8. Esquema Calles completas de acceso a Santa Lucia. [63]



Figura 9. Plano Acciones PIP Calles completas de acceso a Santa Lucia [63]

En el POT, para la UPL se estableció un inventario para validar predios afectados por amenaza, ya sean deslizamientos o inundaciones. Además, se identifican aquellos predios que, aunque no estén directamente afectados, tienen potencial para ser utilizados como espacio público o para la generación de equipamientos, identificación de predios patrimoniales, revisión de afectaciones

viales, delimitación de corredores hídricos, identificación de estructura predial y localización de equipamientos [63].

3.3.3 UPL Usme -Entrenubes

La UPL Entrenubes se encuentra ubicada en los extremos suroriental de la ciudad y sirve como salida hacia los llanos orientales del país. La UPL tiene una extensión total de 1765.10 hectáreas. De este total, 1068.41 hectáreas (60.53%) corresponden a áreas urbanas, 660.72 hectáreas (37.43%) son zonas de expansión y 35.96 hectáreas (2.04%) se destinan a áreas rurales. Esta UPL destaca por su riqueza ecosistémica al albergar gran diversidad de flora y fauna [63].

Según el DANE 2021, la UPL Usme Entrenubes tiene una población total de 258,620 habitantes, distribuidos entre áreas urbanas (253,706) y de expansión (4,914). Aunque hay una pequeña área rural de 35.96 hectáreas, esta no está habitada. La densidad poblacional total es de 147 habitantes por hectárea, siendo la tercera más alta del Sector Suroriente. En el sector norte, colindante con la UPL San Cristóbal, se encuentran las mayores densidades poblacionales en los barrios La Gloria y Villa del Cerro [63]. En el sector sur, colindante con la UPL Rafael Uribe, hay altas densidades en los barrios Chuniza y La Reforma, excepto en Usme Pueblo, donde las densidades son bajas, tal como se evidencia en la Figura 10.

Para esta UPL, el POT propone descentralizar las actividades productivas mediante el desarrollo de nodos de servicios, con el objetivo de cubrir déficits y generar empleo formal, reduciendo los tiempos de desplazamiento. En el sector sur, se plantea la Operación Estratégica Borde Usme para la restauración ambiental, el mejoramiento del hábitat rural y la reconversión productiva. Además, se consolidará el Corredor de carga de la Vía al Llano y se proyectará el Ecosistema de Educación Superior en el costado occidental de la Carrera 14. Estas intervenciones buscan fomentar la competitividad, generar empleo y establecer motores económicos, impulsando el desarrollo de servicios y espacios públicos para crear un sector más cercano, integrado e inclusivo [63].

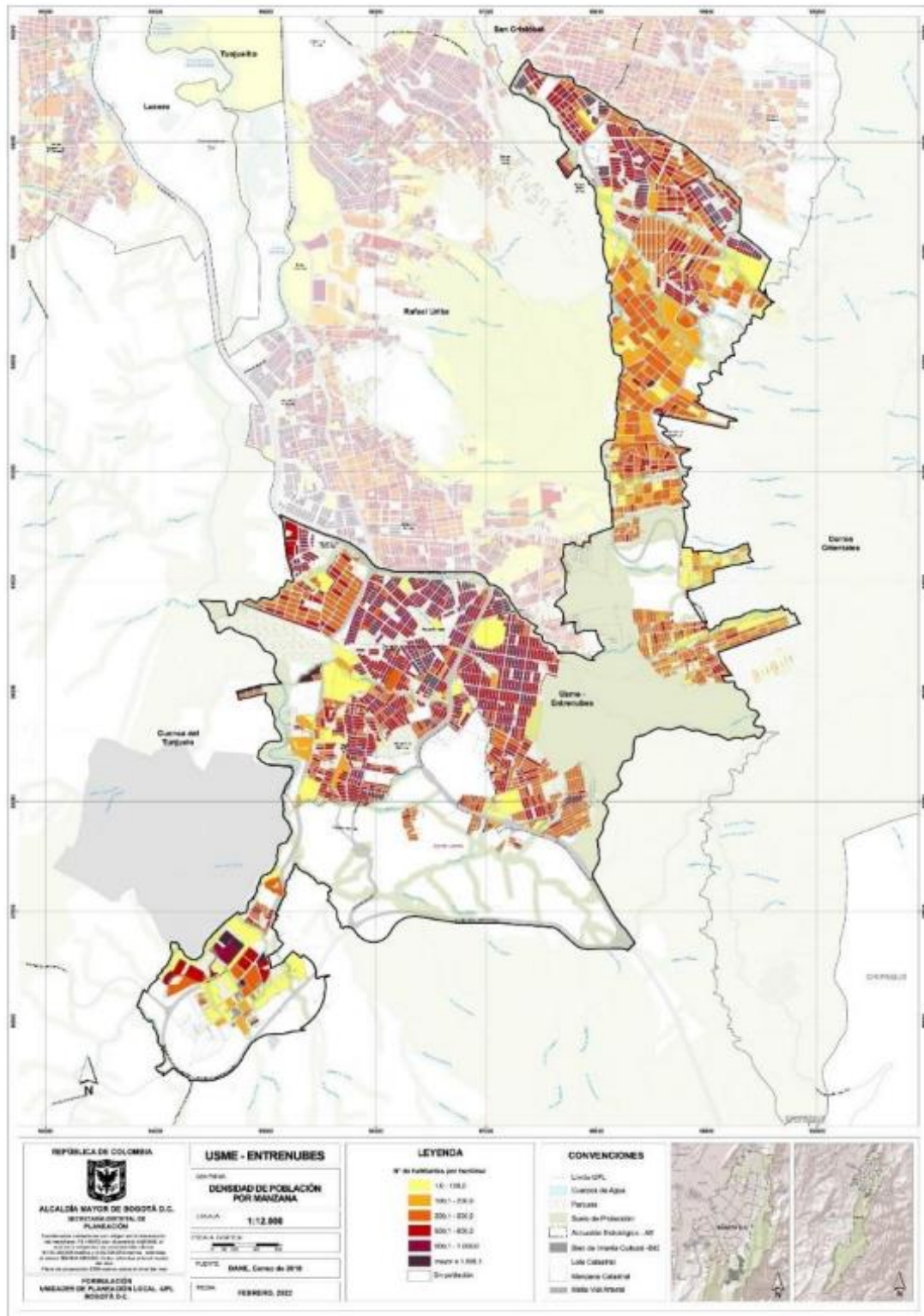


Figura 10. Densidad de Población UPL Usme Entrenubres [63]

3.3.3.1 La estructura local de la UPL Usme Entrenubes

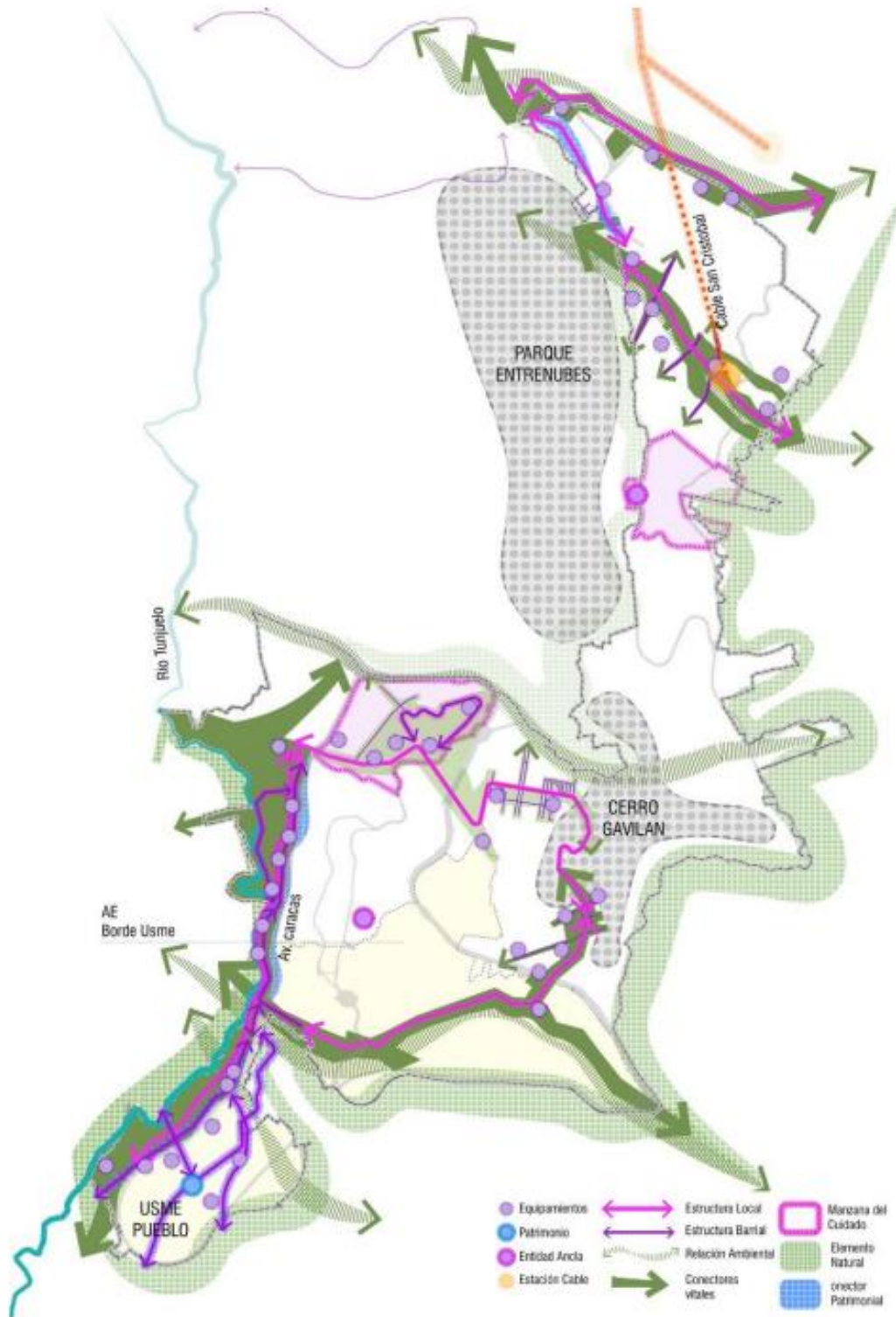


Figura 11. Plano Visión UPL Usme [63]

La visión de la UPL se materializa en siete proyectos: cuatro conectores vitales que funcionan como ejes de proximidad paralelos a las quebradas La Chiguaza, Quebrada Verjones y Quebrada La Nutria, junto con su cuenca alta; dos circuitos que delimitan la actividad patrimonial en el centro de Usme Pueblo y en el corredor hídrico del Río Tunjuelo; y, por último, una red de proximidad en los espacios locales de Chuniza, El Virrey y El Progreso, que también respaldan la configuración de manzanas de cuidado. Se busca pasar de 3.83 m² EPE/Habitante a 6.37 m² EPE/habitante, además de construir 6.04 km nuevos de ciclo-infraestructura para tener a 2035 11.84 km [63].

3.3.3.2 Alameda Usme Patrimonial y Alameda Entre Quebradas - Tramo I y Tramo II

Se propone la creación de una alameda como un circuito integrador en el Centro Fundacional de Usme, con el fin de conectar de manera fluida y atractiva diversos puntos de interés mediante una calle peatonal. Esta alameda no solo ofrecerá una experiencia enriquecedora para turistas y visitantes, sino que también impulsará el desarrollo económico local al fomentar la visita a los diferentes lugares de la UPL. Este circuito integrará la plaza de eventos, la plaza fundacional, bienes de interés cultural y accesos al parque Arqueológico Hacienda del Carmen, se prevé un área de proyecto de 22.53 ha [63].

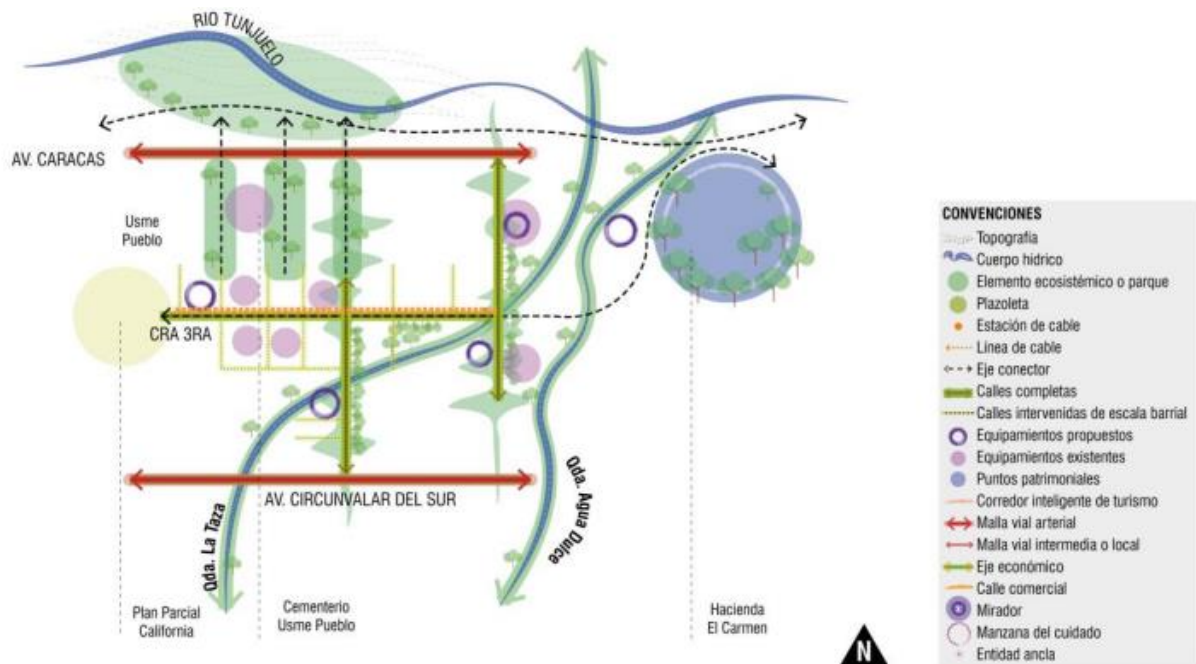


Figura 12. Esquema Alameda Usme patrimonial [63].

Adicionalmente, el proyecto de la alameda peatonal entre Quebradas tiene como objetivo principal la recuperación y resaltado de los cuerpos hídricos y quebradas presentes en las zonas residenciales de la UPL. Se busca crear un espacio abierto y accesible para que los peatones puedan disfrutar de la belleza natural de estos elementos, al mismo tiempo que se promueve la conservación del medio ambiente [63].

3.3.3.3 Conector vital y de proximidad del Infierno a la Arboleda – Tramo III y Conector vital y de proximidad del Tunjuelo al Gavilán

El proyecto propone un eje paralelo al Corredor Hídrico, denominado Conector Ecológico y de Movilidad Activa, que funcionará como un recorrido lineal y seguro, estructurando servicios sociales y de cuidado a lo largo de las quebradas Verjones, Morales, San Camilo y Nueva Delhi, así como los parques del sector Nueva Roma, Santa Rita del Sur y Nueva Delly. Este conector se extiende hasta el Parque Estructurante Arboleda Santa Teresita, siendo el tramo final del enlace inter UPL de Lucero, San Cristóbal y Usme Entrenubes. Este eje tiene como objetivo principal mejorar la calidad de vida de los habitantes, preservar el entorno natural y promover el desarrollo del sector. A lo largo del Tramo III, en la UPL Usme Entrenubes [63], se llevarán a cabo diversas acciones para lograr estos propósitos, incluyendo la creación de escenarios al aire libre para que la comunidad se exprese y enaltezca su cultura.

Por su parte, el proyecto “Conector vital y de proximidad del Tunjuelo al Gavilán”, tiene como objetivo principal la recuperación y restauración de las quebradas La Fucha y la Mediana, con el fin de mejorar la calidad del agua, crear espacios naturales seguros y promover la protección del medio ambiente. Además, se busca consolidar y mejorar los parques existentes, como el parque Puerta al Llano, que servirá como punto de conexión con el cerro Gavilán y la recuperación ambiental de la quebrada La Fucha. También se planifica la creación de nuevos parques y plazas que fomenten el recorrido por el conector, con frentes activos a lo largo de las quebradas y garantizando la iluminación, senderos y rutas peatonales seguras y accesibles [63].

3.3.3.4 Circuito Entre-Domos

El proyecto se centra en la creación de un circuito ecológico, recreativo, deportivo y cultural, cuyo principal objetivo es la recuperación y valoración del río Tunjuelo, así como la promoción de los elementos patrimoniales y culturales en la UPL Usme Entrenubes. Este circuito incluirá espacios

públicos con áreas verdes y zonas de conservación ambiental, junto con equipamientos estratégicamente ubicados a lo largo del recorrido desde el Parque San José de Usme hasta Usme Pueblo. Estos espacios permitirán integrar la naturaleza en el entorno urbano, ofreciendo oportunidades de recreación, descanso y bienestar para los residentes y visitantes de la UPL. Además, se habilitarán senderos para caminatas y ciclovías, fomentando el ejercicio físico y la movilidad sostenible [63].

El proyecto también busca impulsar el turismo sostenible, atrayendo a visitantes interesados en la apreciación de la naturaleza, la historia y la cultura de la zona. Se destacarán elementos patrimoniales y culturales como la alameda patrimonial, la Hacienda El Carmen, la Universidad Antonio Nariño, CREA Cantarana y Quinta Usme, entre otros. Estos lugares se convertirán en puntos de interés dentro del circuito, permitiendo a los visitantes conocer y disfrutar de la riqueza histórica y cultural de la UPL Usme Entrenubes [63].

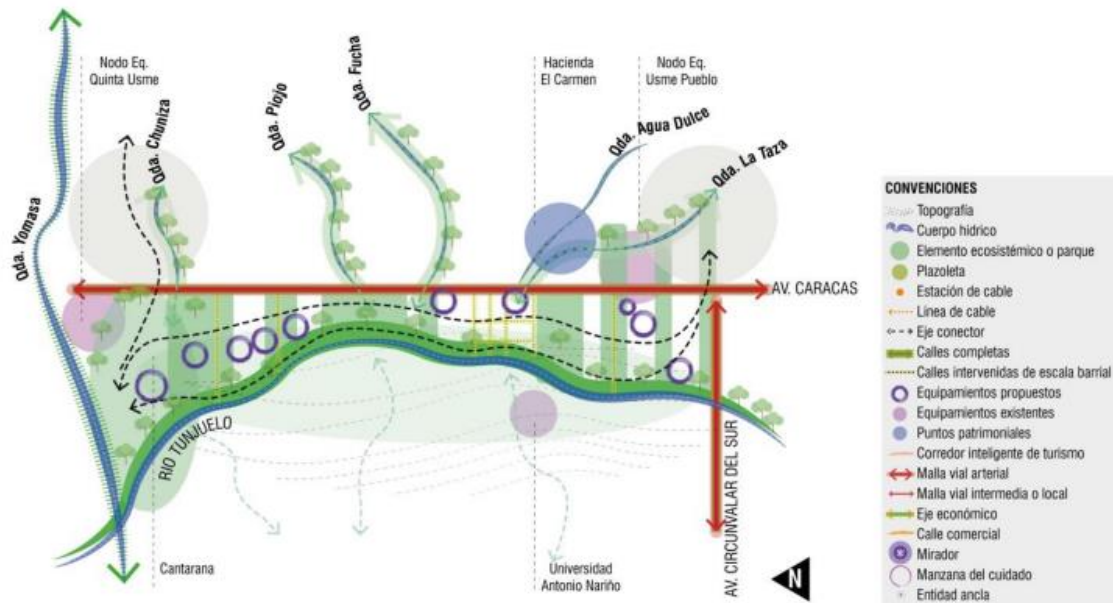


Figura 13. Esquema Par Circuito Entre Domos [63].

3.3.3.5 Red de miradores del Sur – Tramo IV

El proyecto Red de Miradores del Sur tiene como objetivo principal fortalecer la conexión de las comunidades con su territorio y fomentar la apreciación del entorno natural y el sistema ecológico. A través de la construcción estratégica de miradores en ubicaciones panorámicas clave, se pretende

brindar a los visitantes la oportunidad de disfrutar de vistas espectaculares, garantizar el uso adecuado de los espacios públicos, revitalizar los sectores y promover una mayor comprensión de la importancia de conservar los recursos naturales [63].

4. METODOLOGÍA

4.1 Validación crecimiento urbano

La validación de la expansión urbana mediante imágenes satelitales es crucial para una planificación territorial efectiva y la implementación de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT). Las imágenes satelitales permiten realizar una caracterización del crecimiento urbano a lo largo del tiempo. Además, el uso de imágenes satelitales en la validación del crecimiento urbano ayuda a monitorear el desarrollo informal, permitiendo a las autoridades tomar decisiones informadas para regular el crecimiento urbano y proteger los recursos naturales. La integración de estos datos en los POT y la planeación territorial construyen un desarrollo urbano sostenible.

Dado que el objetivo de este proyecto es identificar las dinámicas de crecimiento urbano en las Unidades de Planeamiento Local (UPL) Rafael Uribe y Usme Entrenubes, en esta sección se describirá el método utilizado para llevar a cabo el análisis territorial mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estas unidades fueron seleccionadas como área de estudio debido a que concentran la mayor población urbana de la localidad, con una densidad poblacional de 147 hab/ha para la UPL Usme Entrenubes [29] y 209 hab/ha para Rafael Uribe [30].

4.2 Área de Estudio

Usme es la localidad No. 5 de la Ciudad de Bogotá D.C y la segunda del distrito capital con mayor extensión de área, después del Sumapaz. Sus coordenadas aproximadas son 4,359 ° de latitud norte y 74,075 ° de longitud oeste, limita al norte con la localidad de San Cristóbal, Rafael Uribe y Tunjuelo, al oriente limita con los municipios de Chipaque y Uña, al sur con la localidad de Sumapaz y al occidente con Ciudad Bolívar. Su límite geográfico se condiciona también a la división con el Río Tunjuelo y los municipios de Pasca y Soacha (Figura 14). La localidad tiene una extensión de 21.506 ha, de las cuales 2.120 ha corresponden a suelo urbano, 902 ha se clasifican como área de expansión y 18.483 ha de suelo rural[15].

La localidad combina una parte plana a ligeramente ondulada que se encuentra ubicada al noroccidente de la localidad y otra parte inclinada y muy inclinada en inmediaciones de la cordillera oriental de Bogotá D.C [15]

La localidad de Usme está conformada por cuatro Unidades de Planeamiento Local (UPL): Cuenca del Tunjuelo, Usme Entrenubes, Rafael Uribe y Cerros Orientales. Durante la construcción del estado del arte, se evidenció que la Subdirección de Planeamiento Rural Sostenible [66] define a las UPL Cuenca del Tunjuelo y Cerros Orientales como zonas rurales de la localidad de Usme. Dado que el objetivo del proyecto es analizar las dinámicas de crecimiento urbano de esta localidad, se han definido como área de estudio las UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe.

La hipsometría de la localidad va desde los 2.656 msnm como altura mínima hasta los 3.990 msnm como altura máxima, siendo el rango más predominante aquel que se encuentra entre los 2.890 msnm y 2.950 msnm. Así la localidad está conformada por un paisaje predominantemente de montaña, definido por su relieve abrupto y complejo, que varía de empinado a muy escarpado, siendo un mosaico litológico donde alternan rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas [67].

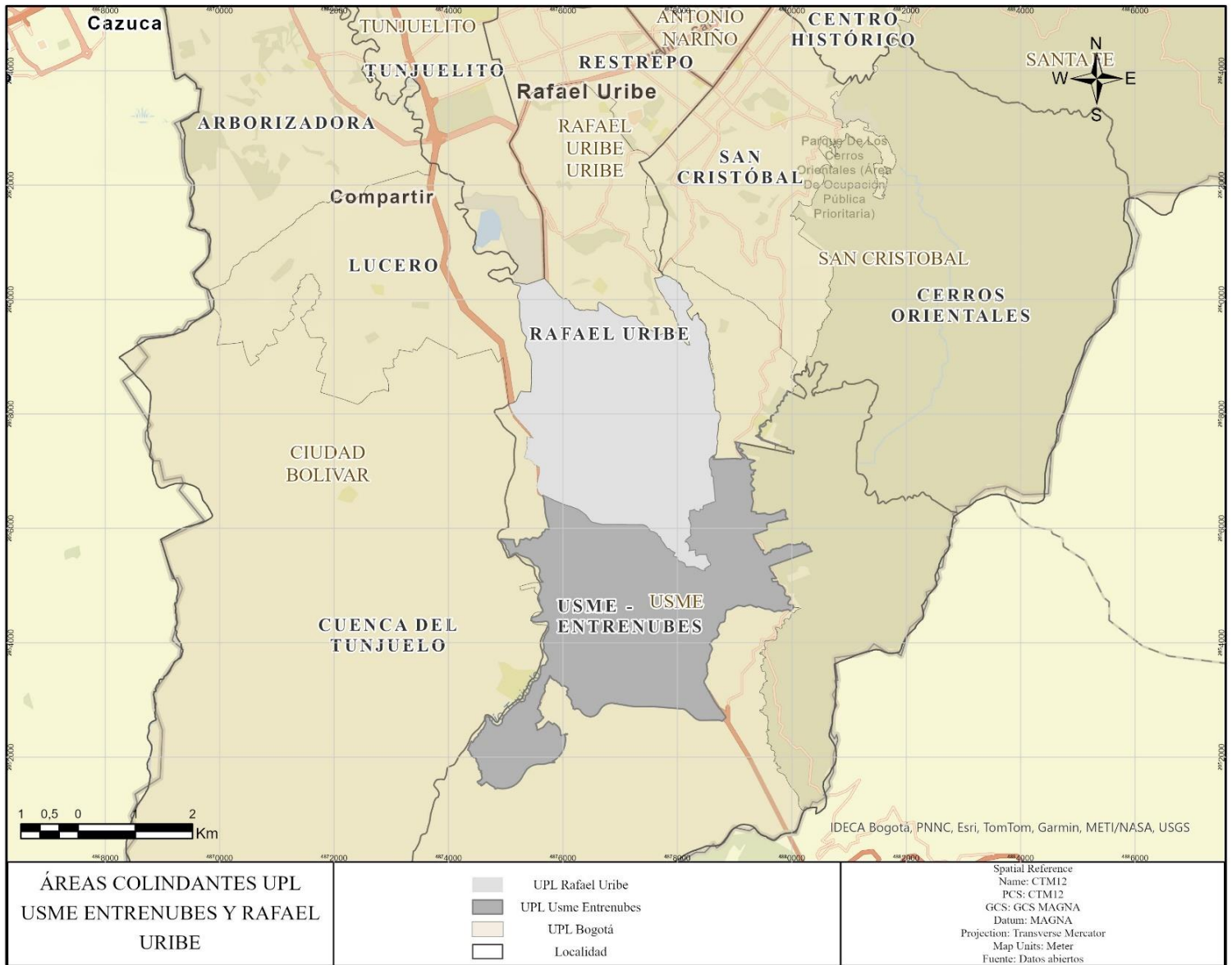


Figura 14. Localización general del área de estudio

4.2.1 UPL Usme Entrenubes

Esta UPL se encuentra ubicada en el sector suroriente de Bogotá, cuenta con una población 413.207 habitantes, su densidad poblacional es de 209 hab/ha con un espacio público efectivo por habitante de 3,34 m², por otra parte, el Documento Técnico de Soporte [68] describe que esta UPL tiene una tasa de crecimiento poblacional baja y un tamaño promedio por hogar alto, así mismo, presenta un nivel medio alto de viviendas desocupadas, baja proporción de apartamentos y media baja de cuartos. Tiene un alto porcentaje de trazado informal y bajo porcentaje trazado especial. Muestra un bajo valor promedio del metro cuadrado, un nivel medio alto de proyectos inmobiliarios en los últimos 5 años, finalmente, en cuanto a la actividad y uso, se observa que esta es residencial.



Figura 15. UPL Usme Entrenubes POT Bogotá Reverdece 2022 – 2035 [69]

4.2.2 UPL Rafael Uribe

Según proyecciones del DANE, la UPL tiene una población cercana a los 413,207 habitantes, lo que se traduce en una densidad poblacional de 209 habitantes/hectárea, lo que la posiciona como la tercera UPL más densa del Suroriente de la ciudad. Los barrios con mayor densidad poblacional se encuentran en la parte plana de la UPL, como Marichuela, Quintas del Plan Social, Granada Sur, La Aurora, entre otros. Actualmente, hay un potencial de crecimiento para equipamientos de 2,37 m² por habitante para alcanzar el estándar recomendado de 3,17 m². Es crucial abordar esta situación para satisfacer las necesidades sociales y del cuidado de la población, promoviendo la calidad de vida y la equidad territorial [63].

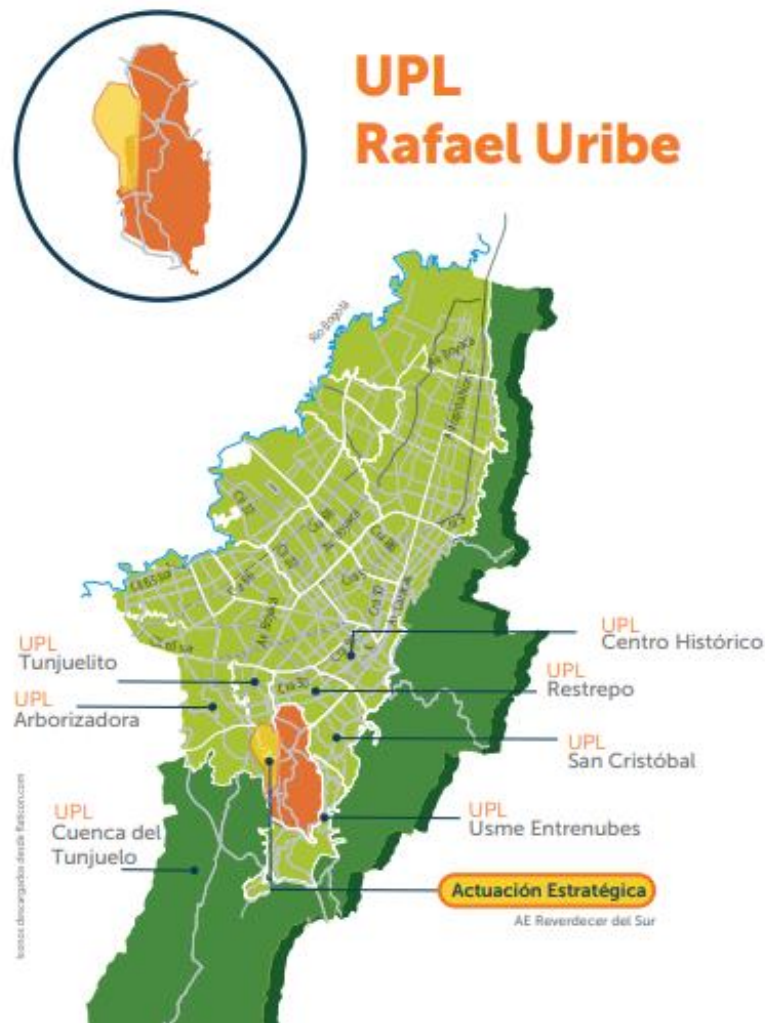


Figura 16. UPL Rafael Uribe POT Bogotá Reverdece 2022 – 2035 [70]

4.3 Recolección de datos

Como parte del proceso de recolección y consolidación de información espacial, se gestionaron solicitudes formales al Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER), a la Secretaría Distrital de Planeación y a la Secretaría del Hábitat, con el propósito de obtener capas geográficas oficiales relacionadas con variables de amenaza, ordenamiento y desarrollo urbano. En particular, se recopilaron insumos cartográficos referentes a amenaza por incendios forestales, remoción en masa, suelos de protección y avenidas torrenciales, junto con información complementaria correspondiente a las capas de equipamientos urbanos, en el marco del Decreto Distrital 555 de 2021, así como de barrios legalizados y barrios en proceso de legalización. Dicha información geoespacial constituyó la base para el análisis geográfico y multitemporal desarrollado en esta investigación, garantizando la integración, comparación y evaluación espacial de variables ambientales, urbanas y de riesgo, en coherencia con los objetivos metodológicos planteados.

Se definió un periodo de análisis multitemporal desde el año 2016 hasta el 2025, teniendo en cuenta que se tomó como fuente información el satélite Sentinel-2 el cual inició operaciones en el año 2015 ejecutado por el programa europeo Copernicus Data Space Ecosystem [71], este satélite óptico permite capturar imágenes multiespectrales de la superficie terrestre en diferentes bandas del espectro electromagnético.

Se estableció como criterio de selección descargar únicamente imágenes satelitales con un porcentaje de nubosidad inferior al 30 %, con el fin de asegurar que las escenas no estuvieran parcial o totalmente cubiertas por nubes, lo cual podría afectar la calidad del análisis y limitar la posibilidad de ejecutar adecuadamente el procesamiento requerido.

Para el análisis de las dinámicas de crecimiento urbano en las UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe, dentro de la localidad de Usme, se descargaron 11 imágenes obtenidas mediante el satélite Sentinel-2, para todas estas imágenes se extrajeron 13 bandas espectrales y 9 combinaciones de bandas espectrales específicas.

4.3.1 Imágenes descargadas

Tabla 1. Registro de descarga de imágenes SENTINEL-2

<i>ID</i>	<i>Fecha de imagen</i>	<i>Código de descarga</i>
01	11 de diciembre de 2015	2015-12-11-00_00_2015-12-11-23_59_Sentinel-2_L2A
02	10 de enero de 2016	2016-01-10-00_00_2016-01-10-23_59_Sentinel-2_L1C
03	20 de diciembre de 2017	2017-12-20-00_00_2017-12-20-23_59_Sentinel-2_L2A
04	25 de diciembre de 2018	2018-12-25-00_00_2018-12-25-23_59_Sentinel-2_L1C
05	13 de febrero de 2019	2019-02-13-00_00_2019-02-13-23_59_Sentinel-2_L2A
06	13 de febrero de 2020	2020-02-13-00_00_2020-02-13-23_59_Sentinel-2_L2A
07	19 de noviembre de 2021	2021-11-19-00_00_2021-11-19-23_59_Sentinel-2_L2A
08	24 de diciembre de 2022	2022-12-24-00_00_2022-12-24-23_59_Sentinel-2_L2A
09	26 de agosto de 2023	2023-08-26-00_00_2023-08-26-23_59_Sentinel-2_L1C
10	12 de abril de 2024	2024-04-12-00_00_2024-04-12-23_59_Sentinel-2_L2A
11	22 de enero de 2025	2025-01-22-00_00_2025-01-22-23_59_Sentinel-2_L2A

4.3.2 Bandas espectrales

1. Banda 1: 443 nm (Azul, 60 m de resolución)
2. Banda 2: 490 nm (Azul, 10 m de resolución)
3. Banda 3: 560 nm (Verde, 10 m de resolución)
4. Banda 4: 665 nm (Rojo, 10 m de resolución)
5. Banda 5: 705 nm (Borde rojo, 20 m de resolución)
6. Banda 6: 740 nm (Borde rojo, 20 m de resolución)
7. Banda 7: 783 nm (Borde rojo, 20 m de resolución)
8. Banda 8: 842 nm (Infrarrojo cercano, 10 m de resolución)
9. Banda 8A: 865 nm (Borde rojo, 20 m de resolución)
10. Banda 9: 945 nm (Vapor de agua, 60 m de resolución)
11. Banda 10: 1375 nm (Cirrus, 60 m de resolución)
12. Banda 11: 1610 nm (SWIR, 20 m de resolución)
13. Banda 12: 2190 nm (SWIR, 20 m de resolución)

4.3.3 Combinaciones de bandas específicas

1. False Color: Utiliza las bandas 8 (NIR), 4 (Rojo) y 3 (Verde). Esta combinación es útil para evaluar la densidad y salud de la vegetación, ya que las plantas reflejan más luz en el infrarrojo cercano (NIR) que en el verde.
2. False Color Urban: Utiliza las bandas 12 (SWIR), 11 (SWIR) y 4 (Rojo). Esta combinación resalta áreas urbanas en tonos blancos, grises o púrpuras, mientras que la vegetación aparece en verde.
3. Highlight Optimized Natural Color: Utiliza las bandas 4 (Rojo), 3 (Verde) y 2 (Azul) con optimización de resaltado para evitar píxeles quemados y equilibrar la exposición.
4. Moisture Index (NDMI): Utiliza las bandas 8A (NIR) y 11 (SWIR). Este índice se usa para monitorear cambios en el contenido de agua en las hojas.
5. NDSI (Normalized Difference Snow Index): Utiliza las bandas 3 (Verde) y 11 (SWIR). Este índice ayuda a diferenciar entre nieve y nubes, ya que la nieve refleja la luz visible, pero absorbe la luz infrarroja de onda corta.
6. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index): Utiliza las bandas 8 (NIR) y 4 (Rojo). Este índice es ampliamente utilizado para cuantificar la vegetación verde, normalizando la dispersión de la luz en el NIR con la absorción de clorofila en el rojo.
7. NDWI (Normalized Difference Water Index): Utiliza las bandas 3 (Verde) y 8 (NIR). Este índice se usa para resaltar cuerpos de agua, ya que el agua absorbe la luz en el NIR y refleja la luz verde.
8. SWIR (Short-Wave Infrared): Utiliza las bandas 12 (SWIR), 8A (NIR) y 4 (Rojo). Esta combinación es útil para estimar la cantidad de agua en plantas y suelos, y para distinguir entre diferentes tipos de nubes y nieve.
9. True Color: Utiliza las bandas 4 (Rojo), 3 (Verde) y 2 (Azul). Esta combinación muestra una representación natural de la Tierra, similar a lo que vería el ojo humano.

4.3.4 Análisis cubo espacio - temporal

Se empleó el análisis de cubo de espacio-tiempo (Space Time Cube) disponible en ArcGIS Pro para modelar la evolución de la expansión urbana informal durante el periodo 2016–2025. La herramienta “Crear cubo de espacio-tiempo agregando puntos” permitió dividir el territorio en una cuadrícula regular de 250 m × 250 m y en los intervalos de evaluación (2016, 2019, 2021, 2023

y 2025). En cada celda se registró la cantidad de polígonos de expansión urbana informal por año, generando un archivo en formato NetCDF (.nc) que almacena la información tridimensional del fenómeno (espacio + tiempo).

Posteriormente, mediante la herramienta “Análisis de puntos calientes emergentes (Emerging Hot Spot Analysis)”, se evaluó la tendencia temporal de cada celda para identificar zonas con incrementos, fluctuaciones o estancamientos significativos en la expansión urbana.






4.4 Procesamiento de imágenes

Para el procesamiento de las imágenes se definió el uso de la herramienta de análisis geográfico ArcGIS Pro, debido a que permite asignar clases definidas en un sistema de clasificación supervisada de cobertura del suelo, a todos los píxeles de una imagen capturada mediante teledetección.

Esta clasificación se llama clasificación supervisada, la cual se define como el proceso donde se delimitan sobre una imagen las áreas de entrenamiento. Estas áreas tienen unas características espectrales que se usan para “entrenar” al algoritmo de clasificación, el cual determina parámetros estadísticos de cada banda para cada sitio asignado, y de esta forma permite evaluarlo, compararlo y asignarlo a cada respectiva clase [72]. Es importante destacar, que para las imágenes se seleccionaron áreas representativas de cada cobertura buscando clasificar píxeles que representarán los patrones de cada cobertura por medio de las imágenes satelitales, este tipo de clasificación en donde se indica a priori cuáles serán las clases temáticas, clasificación supervisada.

Para la estructura de clasificación supervisada, se definieron los siguientes criterios, tomando como referencia los criterios establecidos en el estudio “*Impact assessment modeling of climatic conditions on spatial-temporal changes in surface biophysical properties driven by urban physical expansion using satellite images*” [73].

Tabla 2. Criterios de clasificación de usos de suelo

<i>Criterio de clasificación</i>	<i>Valor asignado</i>
 Construcción	1
 Suelos desnudos	10
 Bosque	20
 Pasto	15
 Cuerpos de aguas	50

Para el procesamiento de estas imágenes se requirió el uso de algunos *shapefiles* adicionales tomados de la base de datos abierta de Bogotá [74], tales como *Localidades de Bogotá* y *UPL Bogotá*.

4.5 Análisis de datos

El método clasificador seleccionado fue *Maquina de vector de soporte*, este es un método de clasificación supervisado que se utiliza para identificar y categorizar píxeles en imágenes multibanda. Es especialmente útil para imágenes segmentadas, algunas de las ventajas de utilizar este método es que es menos susceptible al ruido en los datos y las bandas correlacionadas y requiere menos cantidad de muestras de entrenamiento [75].

4.6 Identificación de variables de estudio

4.6.1 Población impactada en las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes

Según proyecciones del DANE [76], la UPL Rafael Uribe tiene una población de 413.207 habitantes, con una densidad poblacional de 209 habitante por hectárea, convirtiéndola en la UPL con mayor densidad poblacional en el sector Sur Oriente de Bogotá, los barrios más densificados se encuentran en la parte plana de la UPL, como Marichuela, Quintas del Plan Social, Granada Sur, La Aurora, entre otros. Por su parte, la UPL Usme Entrenubes cuenta con una proyección poblacional para el año 2021 de 258.620 habitantes y una densidad poblacional de 147 habitantes por hectárea, el 98% de su población se ubica en la zona urbana, mientras que el otro 2% se ubica sobre las zonas de expansión urbana, los barrios donde se encuentra distribuida la mayor densidad poblacional son la Gloria, Villa del Cerro, Chuniza y la Reforma (Figura 5 y Figura 10).

A través de la herramienta *Geovisor Análisis Geoespacial Censo General 2005* del DANE, se estima que el área de estudio definida, que abarca las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes, ubicadas en la localidad de Usme, en el suroriente del Distrito Capital, tiene una población potencialmente impactada de al menos 658.930 personas. Esta cifra corresponde a una estructura habitacional compuesta por aproximadamente 173.102 hogares y 154.405 viviendas.

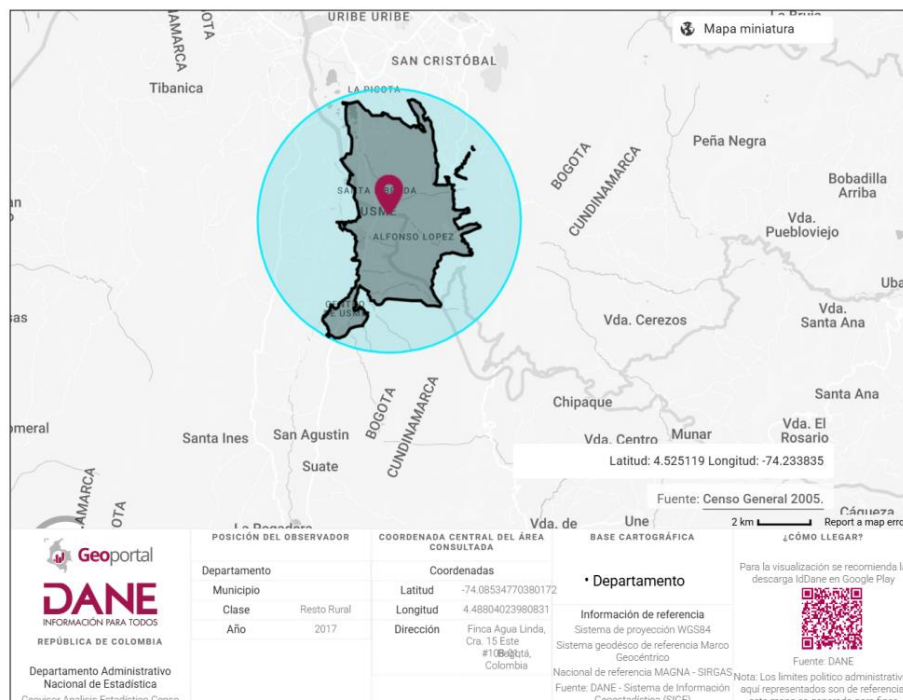


Figura 17. Proyección poblacional área urbana Usme Geovisor Análisis Geoespacial Censo General 2005

Considerando que, según proyecciones del DANE, la población total de Bogotá para el año 2025 se estima en 7.943.000 habitantes, la población de las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes, en la localidad de Usme, representa aproximadamente el 8.29% del total distrital. Este dato evidencia una concentración significativa de población en un territorio que combina condiciones de vulnerabilidad social, procesos de urbanización descontrolada y una alta presión sobre el suelo, particularmente en zonas de borde de las zonas clasificadas como urbanas y expansión urbana. Este volumen poblacional representa un porcentaje relevante dentro de la dinámica urbana de Bogotá, reflejando una alta densidad demográfica en un territorio que, a su vez, presenta múltiples retos en términos de planificación urbana, acceso a servicios públicos, infraestructura y conectividad.

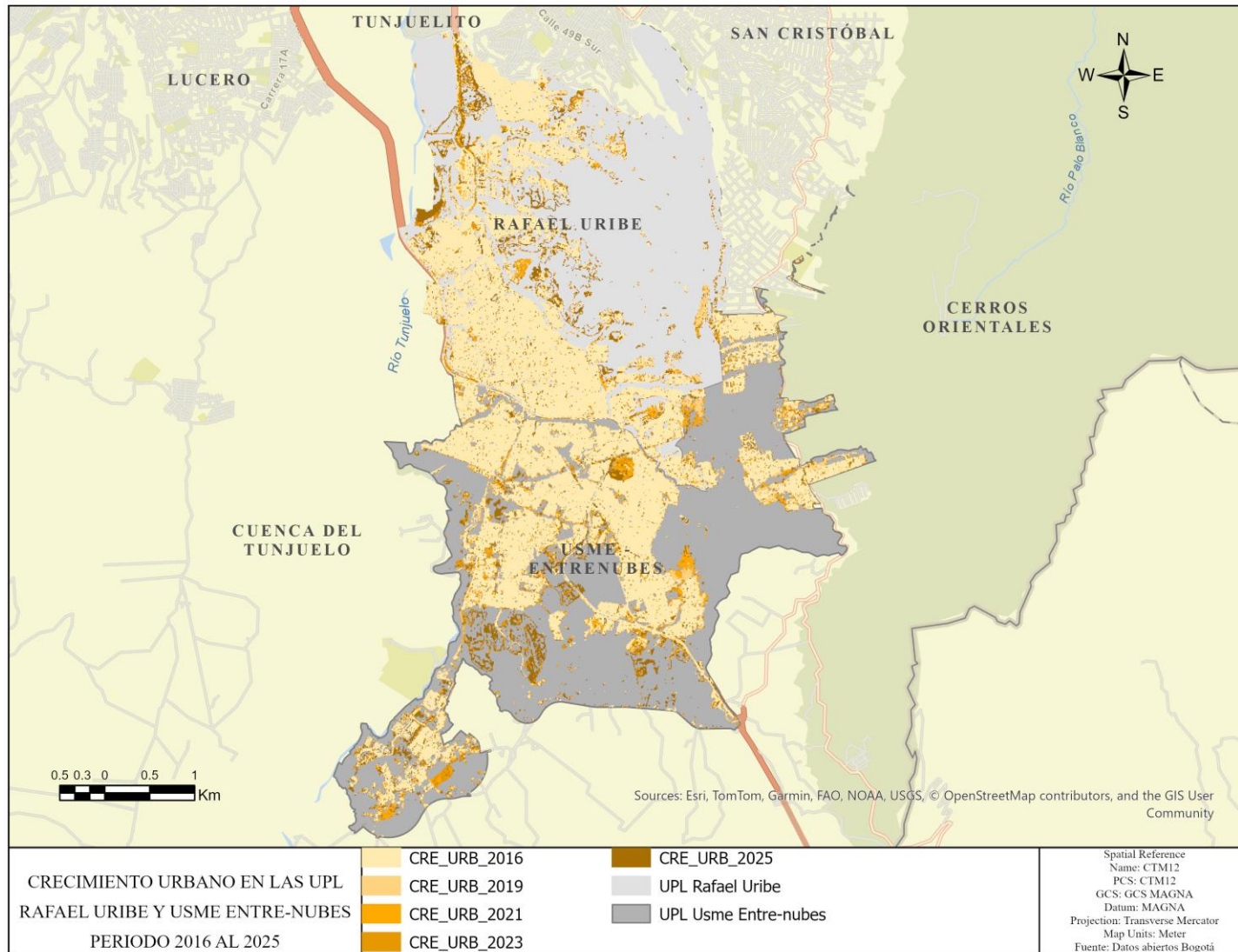


Figura 18. Crecimiento Urbano año 2025 en las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes en la Localidad de Usme

4.6.2 Clasificación del suelo

El Decreto 555 de 2021 adoptó la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C., fijando las directrices para la clasificación del suelo y la proyección del desarrollo urbano entre 2022 y 2035. En este marco, el territorio distrital se clasifica en tres categorías principales.

El suelo urbano corresponde a las áreas que ya cuentan con infraestructura básica consolidada, como redes viales, acueducto, alcantarillado y energía, lo que permite su consolidación como zonas urbanizadas. El suelo de expansión urbana está conformado por sectores con vocación de integrarse progresivamente al tejido urbano, aunque aún carecen de las condiciones plenas de infraestructura y equipamientos públicos. Finalmente, el suelo rural comprende aquellas áreas externas al perímetro urbano y de expansión, destinadas a actividades agropecuarias, forestales y de conservación ambiental, con funciones esenciales en la regulación hídrica, la protección de ecosistemas y el abastecimiento alimentario de la ciudad.

En la localidad de Usme, la Secretaría Distrital de Planeación reporta una densidad promedio de 168 habitantes por hectárea (Hab/ha) sobre un área de estudio del proyecto equivalente a 2610.08 hectáreas, distribuidas en 1911.54 ha de suelo urbano, 662.56 ha de expansión urbana y 35.97 ha de suelo rural. A partir de esta clasificación se estima que al menos 111 mil habitantes residen actualmente en áreas de expansión urbana, las cuales, pese a su condición normativa, en su mayoría no cuentan con la infraestructura pública necesaria para garantizar una adecuada habitabilidad. Asimismo, se calcula que aproximadamente 6 mil personas habitan suelos rurales, espacios que se destinan principalmente a la agricultura y otras actividades productivas, pero que enfrentan limitaciones significativas en el acceso a servicios públicos básicos. El Decreto Distrital 252 de 2007 [77] expone que Usme cuenta con una estructura definida por cuatro planes parciales, el plan parcial No. 1 se enfoca en detener la tendencia de crecimiento de la zona producida por la urbanización informal, el plan parcial No. 2 busca potenciar el papel simbólico del actual casco urbano, el plan parcial No.3 concentra los equipamientos de oferta regional y urbana en materia de salud y educación, finalmente, el plan parcial No. 4 es la concreción del borde urbano-rural y atiende el reasentamiento productivo de la población campesina residente de la localidad.

4.7 Corrección del análisis temporal del crecimiento urbano

Durante el análisis multitemporal de la expansión urbana, se consideró el periodo comprendido entre los años 2016 y 2025, con el propósito de evaluar los cambios espaciales y temporales en las coberturas del suelo dentro de dicho intervalo. Este rango temporal permitió identificar las tendencias recientes del crecimiento urbano y analizar la dinámica de transformación del territorio en la última década, considerando tanto las variaciones anuales como los patrones acumulativos de urbanización.

A pesar de ello, en este periodo de tiempo se identificaron inconsistencias en la clasificación de coberturas del suelo. En algunos casos, ciertas celdas fueron clasificadas como urbanas en años anteriores, pero no en años posteriores, lo cual contradice el comportamiento lógico y esperado del crecimiento urbano progresivo.

Este comportamiento puede atribuirse a diversos factores relacionados con el procesamiento de imágenes satelitales. Las variaciones en condiciones atmosféricas, cambios en la resolución radiométrica, errores muestrales en los algoritmos de clasificación supervisada o incluso desalineaciones entre rásteres pueden dar lugar a resultados inconsistentes. En consecuencia, fue necesario aplicar un procedimiento de corrección para garantizar la coherencia temporal de las coberturas.

Para este fin, se diseñó una estrategia de corrección descendente, cuyo objetivo es garantizar que, si una celda fue clasificada como urbana en un año dado, también lo sea en todos los años posteriores. La presente investigación se basa en el supuesto de que la urbanización es un fenómeno progresivo e irreversible en el horizonte de análisis.

Matemáticamente, sea $U_t(x, y) \in \{0, 1\}$ una función binaria que indica si una celda (x, y) es urbana en el año t , con:

$$U_t(x, y) = \begin{cases} 1: & \text{si la celda es urbana en el año } t \\ 0: & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

La corrección descendente define una nueva función corregida $U_t(x, y)$, tal que:

$$U_t(x, y) = \begin{cases} 1: \text{si } U_t(x, y) = U_{t+1}(x, y) = \dots = U_{2025}(x, y) = 1 \\ 0: \text{en caso contrario} \end{cases} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

De este modo, la presencia de una celda urbana en un año t solo se conserva si la celda también es urbana en todos los años posteriores hasta 2025. La implementación práctica se realizó con la función Con () del *Raster Calculator* en ArcGIS Pro, evaluando las condiciones lógicas de cada celda de forma individual. Esta corrección permitió asegurar que la expansión urbana fuera creciente en el tiempo, es decir, sin regresiones espaciales. Esto mejora la consistencia interna de los datos y fortalece la validez de los análisis de cambio de cobertura y las tasas de crecimiento urbano obtenidas.

Es importante aclarar que este procedimiento constituye un supuesto metodológico del presente trabajo. En la realidad, pueden existir procesos de desurbanización o retroceso de coberturas urbanas, por ejemplo, asociados a fenómenos de abandono de terrenos, transformaciones productivas o reasentamientos por riesgo. Sin embargo, para los fines de esta investigación se asume que la expansión urbana es creciente, con el fin de preservar la consistencia interna de los datos y fortalecer la validez de los análisis de cambio de cobertura y de las tasas de crecimiento obtenidas.

4.8 Análisis comparativo del crecimiento urbano

Se definió un método de análisis comparativo de las proyecciones de crecimiento urbano, mediante una evaluación de coherencia entre los índices de crecimiento identificados en el análisis multiespectral realizado para el periodo 2016 hasta el 2025 y los objetivos establecidos en el POT “Bogotá Reverdece 2022 – 2035”, así como en el Plan de Ordenamiento Zonal – POZ para la Localidad de Usme.

Para ejecutar el análisis comparativo se conllevaron los siguientes procesos:

- Revisión de los objetivos establecidos en el POT, así como POZ para la localidad de Usme, en las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes.
- Identificación de zonas de amenaza por remoción en masa, incendios forestales, avenidas torrenciales, suelos de protección en la zona de estudio y proyectos de equipamiento.

- Comparación de los índices de crecimiento urbano identificados mediante el análisis multispectral para el periodo 2016 hasta el 2025, realizado en las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes, con lo establecido en el POT de Bogotá.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis de la dinámica de crecimiento urbano en las UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe

En el período analizado para la localidad de Usme en las UPL de Rafael Uribe y Usme Entrenubes se identificó una expansión urbana acumulada de aproximadamente 339,7 hectáreas. El intervalo comprendido entre 2023 y 2025 se destacó como el de mayor crecimiento, con una expansión de 140,4 hectáreas, mientras que el periodo correspondiente al 2016 y 2019 presentó la menor expansión, registrando un total de 53,2 hectáreas. La evolución de este fenómeno puede observarse en el siguiente gráfico, elaborado a partir de datos de identificación satelital realizada para la zona de análisis.

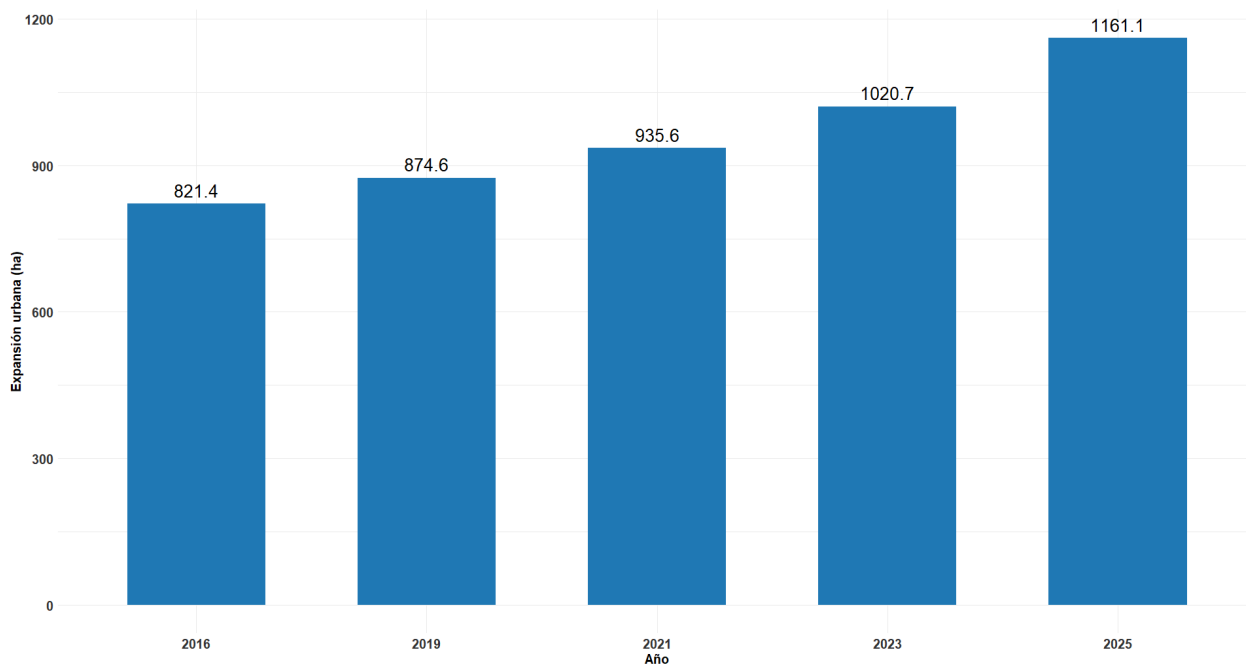


Figura 19. Dinámica de crecimiento urbano UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe para la localidad de Usme (2016 - 2025)

Durante el período comprendido entre 2016 y 2025, la localidad de Usme ha experimentado un crecimiento urbano sostenido en la superficie urbana. Según los datos analizados, el área urbana pasó de 821,4 hectáreas en 2016 a 1161,1 hectáreas en 2025, lo que representa un incremento total del 41,4% respecto al año base, tal como se muestra en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Dinámica de expansión urbana en la zona de análisis durante el periodo 2016 hasta 2025 [UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe] en la localidad de Usme

<i>Año de análisis</i>	<i>expansión Urbana (ha)</i>	<i>población</i>	<i>Porcentaje de expansión respecto 2016</i>
2016	821,4	348870	0%
2019	874,6	366436	6,5%
2021	935,6	384002	13,9%
2023	1020,7	397603	24,3%
2025	1161,1	411900	41,4%

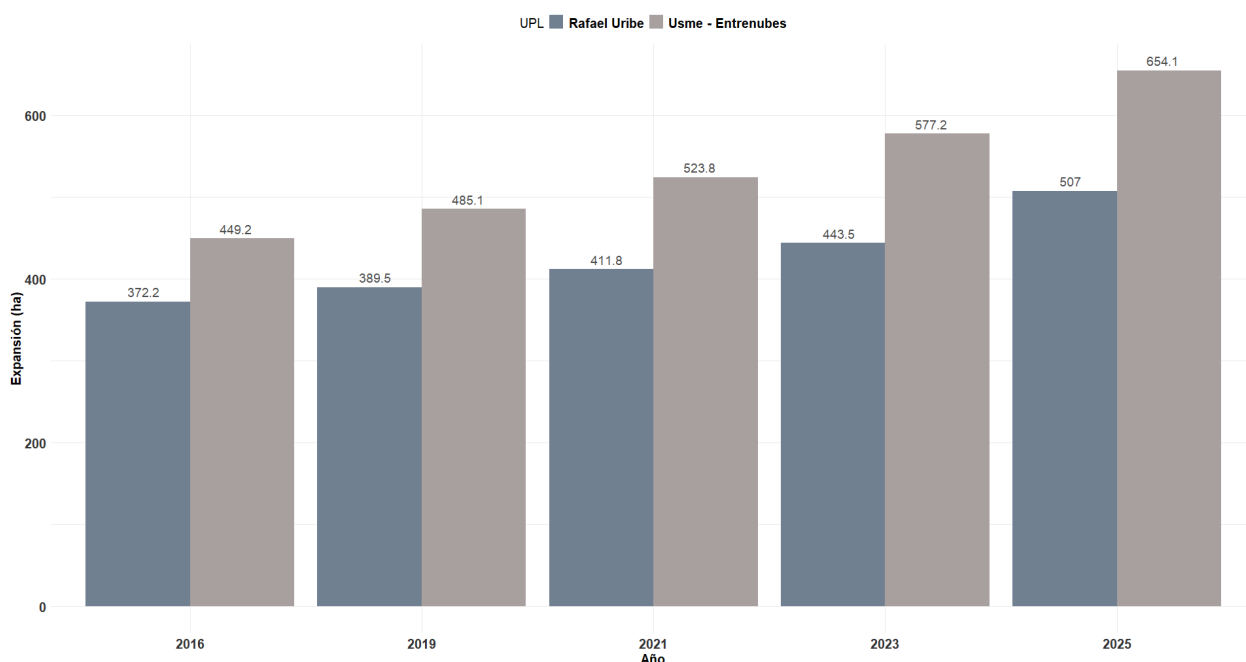


Figura 20. Crecimiento urbano por cada UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe para la localidad de Usme (2016 - 2025)

Ahora, respecto a cada una de las UPL, tal como se evidencia en la Figura 20, la expansión territorial ha sido sistemáticamente mayor en la UPL Usme Entrenubes, con una expansión acumulada de 204,9 hectáreas entre 2016 y 2025, frente a un total de 134,8 hectáreas en la UPL Rafael Uribe. Se observa un crecimiento moderado en ambos territorios durante los primeros dos periodos (2016–2019 y 2019–2021), con incrementos que podrían estar condicionados por factores como restricciones normativas, limitaciones técnicas en los procesos de formalización de suelo que conlleven a los terrenos hacia barrios formales.

Es importante mencionar que en el periodo de 2021 a 2023, se evidencia un crecimiento urbano alto de 53,4 hectáreas (de 523,8 ha a 577,2 ha) para Usme Entrenubes y de 31,7 hectáreas (de 411,8 ha a 443,5 ha) para Rafael Uribe. Mientras que el crecimiento más significativo del periodo ocurre entre 2023 y 2025, donde Usme Entrenubes incrementa su expansión 76,9 hectáreas en Usme Entrenubes y 63,5 hectáreas en Rafael Uribe, lo que sugiere una continuidad en los procesos de transformación territorial a pesar del alto grado de ocupación alcanzado en años anteriores.

Durante el periodo de análisis, se observa un crecimiento urbano de las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes. Rafael Uribe presenta un incremento del 36,2%, pasando de 372,2 hectáreas en 2016 a 507 hectáreas en 2025, mientras que Usme Entrenubes evidencia un aumento más pronunciado del 45,6%, al pasar de 449,2 a 654,1 hectáreas en el mismo periodo, este comportamiento refleja una dinámica territorial más acelerada en Usme Entrenubes,

Para estimar la expansión urbana proyectada para los años 2027 y 2029, se implementó un modelo de regresión lineal simple, en el cual la población fue utilizada como variable independiente y la expansión del territorio urbano (en hectáreas) como variable dependiente. Esta metodología fue seleccionada por su capacidad para establecer relaciones cuantitativas entre variables, su fácil interpretación y su idoneidad en contextos con series de datos limitadas, como el presente caso. La elección se sustentó en la correlación positiva entre el crecimiento poblacional y la expansión urbana registrada entre 2016 y 2025, así como en la disponibilidad de datos históricos confiables y las proyecciones poblacionales conocidas para los años de interés. El modelo se ajustó con base en los datos históricos mediante la función $lm()$ del lenguaje R, y posteriormente se aplicaron las proyecciones de población para 2027 (426.459 habitantes) y 2029 (441.137 habitantes) [78], obteniendo así las estimaciones correspondientes de expansión urbana. Finalmente, los resultados fueron integrados con los datos observados previos y visualizados en la Figura 21, permitiendo una comparación clara entre el comportamiento histórico y las proyecciones futuras. Esta proyección no solo refuerza la tendencia de crecimiento urbano asociada al aumento poblacional, sino que también destaca la necesidad de anticiparse mediante una planificación territorial integral que garantice la adecuada provisión de servicios urbanos.

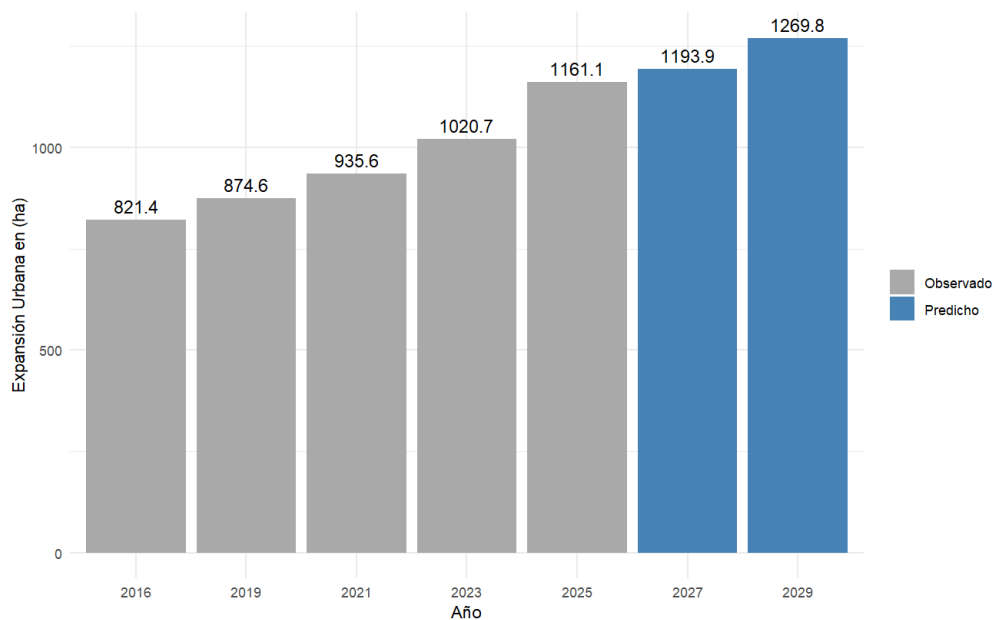


Figura 21. Predicción de crecimiento urbano basada en la población para los años 2027 y 2029.

Adicionalmente, se realizó un análisis de la expansión urbana en las Unidades de Planeamiento Local (UPL) Rafael Uribe y Usme Entrenubes, con base en la delimitación de los barrios legalizados dentro del área de estudio. El objetivo de este análisis fue identificar las dinámicas de crecimiento urbano de estos barrios legalizados, en el marco del Decreto 555 del 29 de diciembre de 2021, por medio del cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Bogotá.

Según lo establecido en dicho decreto, la zona urbana de la localidad de Usme, comprendida por las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes, cuenta actualmente con un total de 202 barrios legalmente constituidos. De estos, 93 pertenecen a la UPL Rafael Uribe y 109 a la UPL Usme Entrenubes. Con el fin de facilitar la visualización de las dinámicas de crecimiento, en la Figura 22

se presenta el top 10 de los barrios legalizados con mayor expansión urbana acumulada registrada entre los años 2016 y 2025.

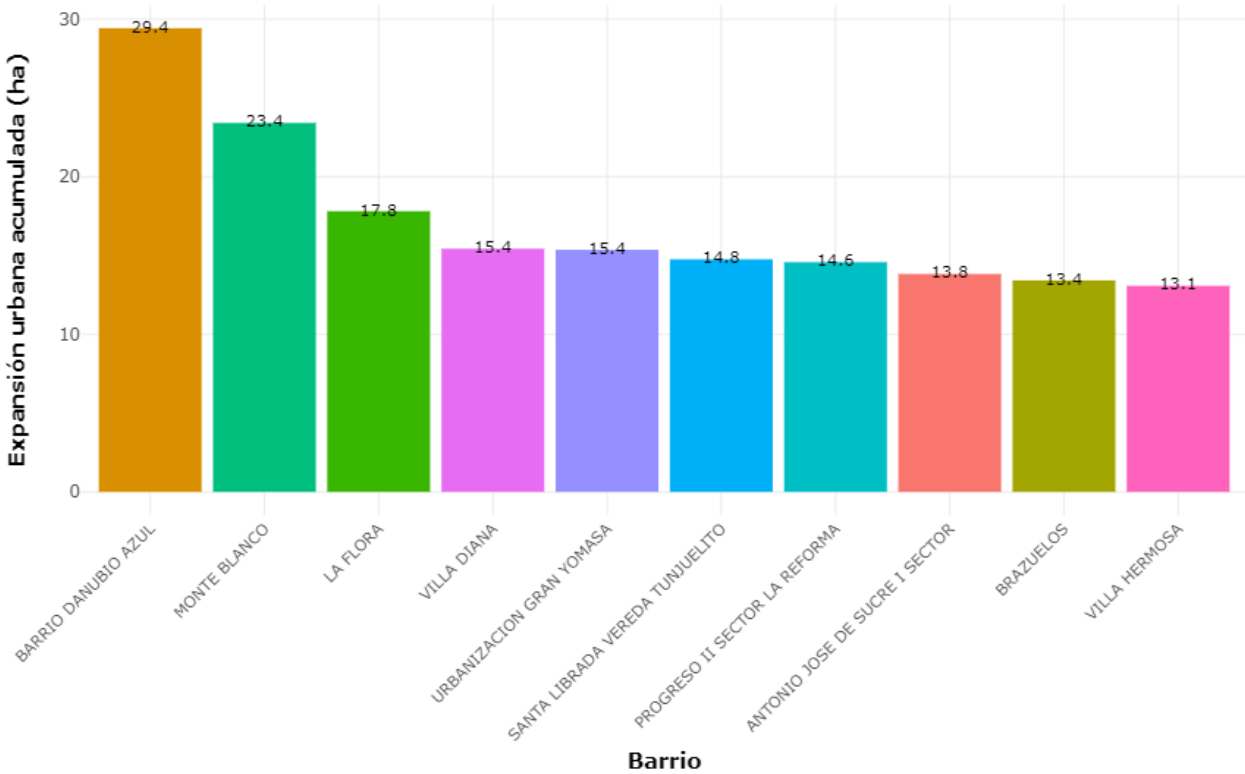


Figura 22. Comparación del área de crecimiento urbano por barrios legalmente constituidos desde 2016 hasta 2025

La **Figura 22** presenta los diez barrios con mayor expansión urbana acumulada entre los años 2016 y 2025. El barrio Danubio Azul encabeza el listado con una expansión de 29,4 hectáreas, seguido por Monte Blanco (23,4 ha) y La Flora (17,8 ha), lo que evidencia procesos significativos de urbanización en estas zonas.

Todos los barrios incluidos en el ranking superan las 13 hectáreas de expansión, lo que refleja una tendencia de crecimiento urbano durante la última década. Este fenómeno puede estar asociado a factores como la demanda habitacional, la ejecución de proyectos de desarrollo o el crecimiento urbano de la ciudad hacia áreas periféricas.

De acuerdo con el análisis realizado, la UPL Rafael Uribe compuesta por 93 barrios legalizados, registró una expansión urbana acumulada de 206,1 hectáreas durante el periodo analizado. Por su parte, la UPL Usme Entrenubes que agrupa 109 barrios, alcanzó una expansión de 428,1 hectáreas.

En conjunto, estas dos UPL concentran el 54,6% del total del crecimiento urbano en barrios legalizados registrado en la zona de estudio entre 2016 y 2025.

Es importante destacar que el Decreto 555 de 2021, por el cual se adoptó el POT para Bogotá D.C., estableció que un asentamiento informal se refiere a la falta de seguridad en las relaciones de tenencia de los habitantes de determinada zona de la ciudad, con las viviendas o el terreno en el que habitan. Adicionalmente, el mencionado POT reconoce la existencia de asentamientos humanos en condición de precariedad, en los cuales, además de su origen de informalidad en la tenencia, forman una unidad territorial mínima, categorizada en los estratos socioeconómicos 1 o 2, que se desarrolló sin licencia urbanística o que, aun habiéndola obtenido, ésta no se ejecutó, y que presenta al menos dos de las siguientes condiciones urbanísticas de desarrollo incompleto

- Incompleta e insuficiente integración a la estructura formal urbana en términos de accesibilidad y conectividad vial.
- Ausencia o déficit de redes de servicios públicos domiciliarios y de infraestructura vial.
- Deficientes o inexistentes espacio público y equipamientos.
- Edificaciones consolidadas habitadas para uso residencial que presentan un déficit cualitativo.

De acuerdo con lo anterior, el instrumento de legalización urbanística y el programa de mejoramiento integral de barrios, son dos estrategias para abordar la situación de estos asentamientos humanos de origen informal y en condición de precariedad. En este sentido, la Secretaría Distrital del Hábitat tiene la función de coordinar la operatividad del proceso de legalización y regularización de desarrollos, asentamientos o barrios localizados en el Distrito Capital, previo a la presentación ante la Secretaría Distrital de Planeación para su aprobación y de adelantar las gestiones y asistencia técnica necesarias para realizar el proceso de legalización urbanística de los asentamientos de origen informal.

Así las cosas, es importante aclarar que la legalización urbanística de barrios “(...) *Es el instrumento mediante el cual se reconoce, si a ello hubiere lugar, la existencia de un asentamiento*

humano con condiciones de precariedad urbanística y de origen informal, conformado por viviendas de interés social y usos complementarios que la soportan y que se ha constituido sin licencia de urbanización o que aun cuando la obtuvo no se ejecutó. La legalización aprueba los planos urbanísticos y expide la reglamentación urbanística sin perjuicio de las responsabilidades penales, civiles y administrativas de los comprometidos en su desarrollo (...)”, sus disposiciones se encuentran definidas en el artículo 499 del Decreto Distrital 555 de 2021 (POT), el Decreto Nacional 1077 de 2015 Título IV Capítulo 5, modificado parcialmente por el Decreto Nacional 1203 de 2017 y el Decreto Nacional 149 de 2020, así mismo, en concordancia con lo establecido en el Decreto Distrital 165 de 2023.

En el marco de la identificación de áreas urbanas con respecto a las capas geográficas de amenaza por remoción en masa, incendios forestales, avenidas torrenciales, suelos de protección y zonas de equipamientos establecidas en el Plan de Ordenamiento Territorial adoptado mediante el Decreto Distrital 555 de 2021, se adelantó un análisis territorial desagregado para cada una de las dos Unidades de Planeamiento Local (UPL) en análisis (Rafael Uribe y Usme Entrenubes).

Mediante el Radicado 2-2025-28071 del 29 de mayo de 2025, la secretaria del Hábitat de la Alcaldía Mayor de Bogotá dispuso información geográfica de los asentamientos que fueron viabilizados para iniciar la etapa preliminar de legalización y que se encuentran en proceso para la posterior aprobación y emisión del acto administrativo por parte de la Secretaría Distrital de Planeación.

Es por esto, que la **Figura 23** presenta los diez barrios en proceso de legalización con mayor expansión urbana acumulada entre 2016 y 2025. Estos fueron seleccionados a partir de un total de diecisiete barrios actualmente en trámite de legalización, según la información suministrada por la Secretaría del Hábitat de Bogotá.

Del total de barrios en proceso, tres pertenecen a la UPL Rafael Uribe, mientras que los catorce restantes se encuentran en la UPL Usme Entrenubes, lo que evidencia una mayor concentración de procesos de legalización en esta última unidad de planeamiento.

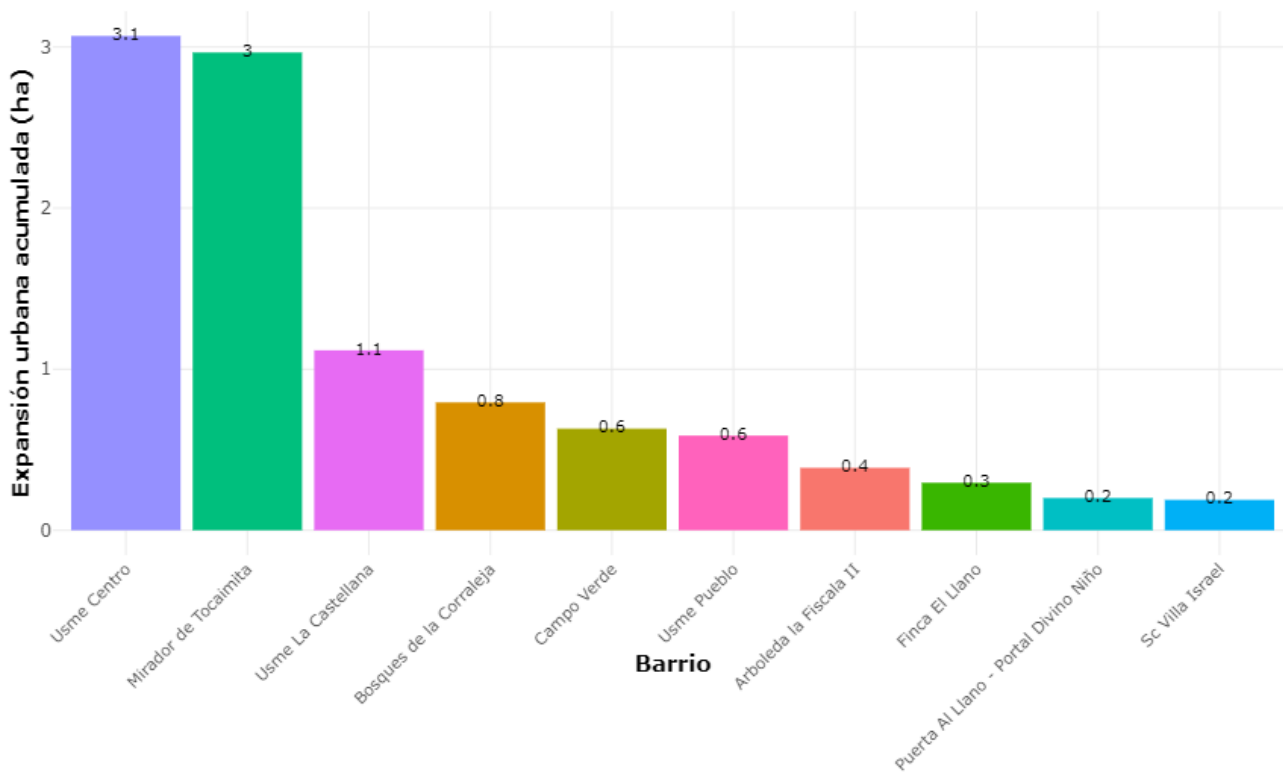


Figura 23. Comparación del área de crecimiento urbano por barrios en proceso de legalización desde 2016 hasta 2025

El barrio Usme Centro encabeza la lista con una expansión de 3,1 hectáreas, seguido por Mirador de Tocaimita con 3 hectáreas, lo que evidencia una dinámica de urbanización significativa en estos sectores, a pesar de no contar aún con un estatus legal consolidado. En conjunto, estos diecisiete barrios en proceso de legalización representan el 0,91% del total de la expansión urbana registrada (1161,1 ha) en la zona urbana de la localidad de Usme entre 2016 y 2025.

Es decir, al consolidar el crecimiento urbano registrado entre 2016 y 2025 en la zona urbana de la localidad de Usme conformada por las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes, y considerando tanto los 202 barrios legalmente constituidos como los 17 barrios en proceso de legalización, se obtiene un total equivalente al 55,5% de las 1161,1 hectáreas de expansión urbana registradas en ese periodo para las dos UPL.

Esto implica que el 44,5% de la expansión urbana registrada entre 2016 y 2025 corresponde a asentamientos informales, lo cual evidencia la persistencia de dinámicas de ocupación del suelo por fuera de los marcos normativos y de planificación establecidos en el Decreto 555 de 2021. La

Figura 24 ilustra este fenómeno al mostrar el crecimiento urbano en áreas identificadas como asentamientos ilegales, muchas de las cuales, según dicho decreto, se encuentran clasificadas como áreas protegidas, zonas con amenaza por remoción en masa o han sido designadas en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) para la localización de equipamientos.

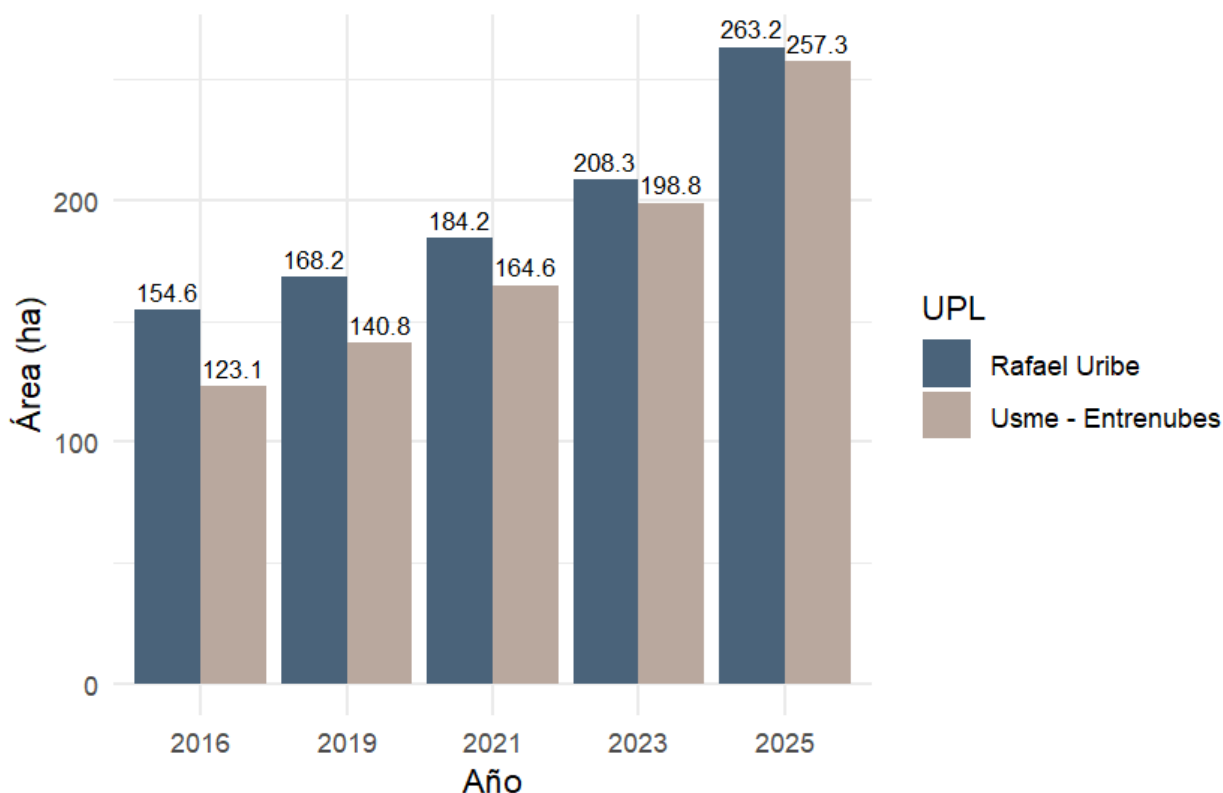


Figura 24. Comparación del área de crecimiento urbano en asentamiento informales desde 2016 hasta 2025

El comportamiento de la expansión urbana en las UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe entre 2016 y 2025 evidencia una tendencia creciente en ambos territorios, aunque con intensidades diferenciadas.

En términos absolutos, la UPL Usme Entrenubes pasó de 123,07 hectáreas en 2016 a 257,33 hectáreas en 2025, lo que representa un incremento acumulado de 134,25 hectáreas. Por su parte, la UPL Rafael Uribe aumentó de 154,58 hectáreas a 263,15 hectáreas en el mismo periodo, con un crecimiento absoluto de 108,57 hectáreas. Si bien la UPL Rafael Uribe presentó una mayor área urbanizada en 2016, la UPL Usme Entrenubes mantuvo un crecimiento más acelerado, alcanzando una expansión acumulada superior en 2025.

Desde una perspectiva relativa, la UPL Usme Entrenubes duplicó su área urbanizada en las zonas consideradas asentamientos informales durante el periodo analizado, registrando un crecimiento del 109,1 %, frente a un incremento del 70,2 % en la UPL Rafael Uribe. Esta diferencia sugiere que Usme Entrenubes está experimentando un proceso de urbanización mucho más dinámico.

5.2 Análisis cubo espacio temporal

La Figura 25 revela el análisis de puntos calientes emergentes¹ en donde se evidencia la influencia que tienen ellos en los barrios legalizados. Este análisis permitió identificar la evolución estadísticamente significativa de la expansión urbana informal en las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes durante el periodo 2016–2025. El modelo, sustentado en el estadístico G_i^* de Getis-Ord, reveló la existencia de cuatro categorías principales: Nuevo punto caliente (New Hot Spot), Punto caliente esporádico (Sporadic Hot Spot), Punto caliente oscilante (Oscillating Hot Spot) y Sin patrón definido (No Pattern Defined). No se identificaron puntos calientes históricos, lo que indica que la expansión informal no ha mostrado un declive sostenido en el tiempo, sino una tendencia activa y persistente en el territorio.

Los nuevos puntos calientes se concentran en el nororiente de la UPL Rafael Uribe, evidenciando una intensificación reciente de la urbanización informal entre 2023 y 2025. Estos sectores corresponden a zonas previamente consolidadas que presentan una reactivación del proceso informal, asociada posiblemente a procesos de densificación irregular, subdivisión predial o aprovechamiento de vacíos urbanos. Este comportamiento refleja una nueva fase de crecimiento alrededor de barrios legalizados, impulsada por la presión habitacional y la limitada disponibilidad de suelo regularizado.

Los puntos calientes esporádicos se distribuyen de forma dispersa en ambas UPL, reflejando procesos discontinuos de expansión donde el crecimiento informal aparece y desaparece en distintos momentos del periodo analizado. Por su parte, los puntos calientes oscilantes predominan en la UPL Usme Entrenubes, evidenciando fluctuaciones temporales del fenómeno. Estas áreas

¹ Un punto caliente (Hot spot) se refiere a un área de agrupación espacial estadísticamente significativa de valores altos, identificada mediante el análisis de puntos calientes (como el método G_i^* de Getis-Ord). Este análisis identifica dónde se concentran los valores altos en relación con su entorno espacial, en contraste con los "puntos fríos" (cold spots), que son agrupaciones de valores bajos.

presentan alternancia entre fases de crecimiento y de detención, producto de condicionantes topográficos, ambientales o institucionales. El comportamiento oscilante sugiere un proceso de expansión informal inestable, dependiente de la combinación de factores físicos (pendiente, accesibilidad) y sociales (presión demográfica, informalidad del suelo).

Las zonas clasificadas como sin patrón definido se asocian a sectores estables o consolidados, donde la expansión urbana informal no presenta variaciones significativas a lo largo del periodo analizado, tal como pasa en barrios legalizados. Estas áreas pueden corresponder a zonas formalizadas, espacios residuales o territorios con baja dinámica de transformación urbana.

En conjunto, los resultados muestran que la expansión urbana informal en el área de estudio responde a una dinámica espacial heterogénea y multitemporal, donde coexisten procesos de reactivación reciente en sectores consolidados del norte (UPL Rafael Uribe) con ocupaciones intermitentes e irregulares hacia los bordes sur y suroriente (UPL Usme Entrenubes). Esta configuración evidencia que el fenómeno no sigue un desplazamiento unidireccional, sino que adopta una lógica de reproducción policéntrica, vinculada tanto a la densificación intraurbana como a la expansión periférica. En consecuencia, el cubo espacio - temporal demuestra la utilidad de este enfoque para describir tendencias dinámicas de la informalidad urbana, permitiendo identificar los focos de mayor presión territorial y los sectores donde la intervención urbanística resulta más urgente.

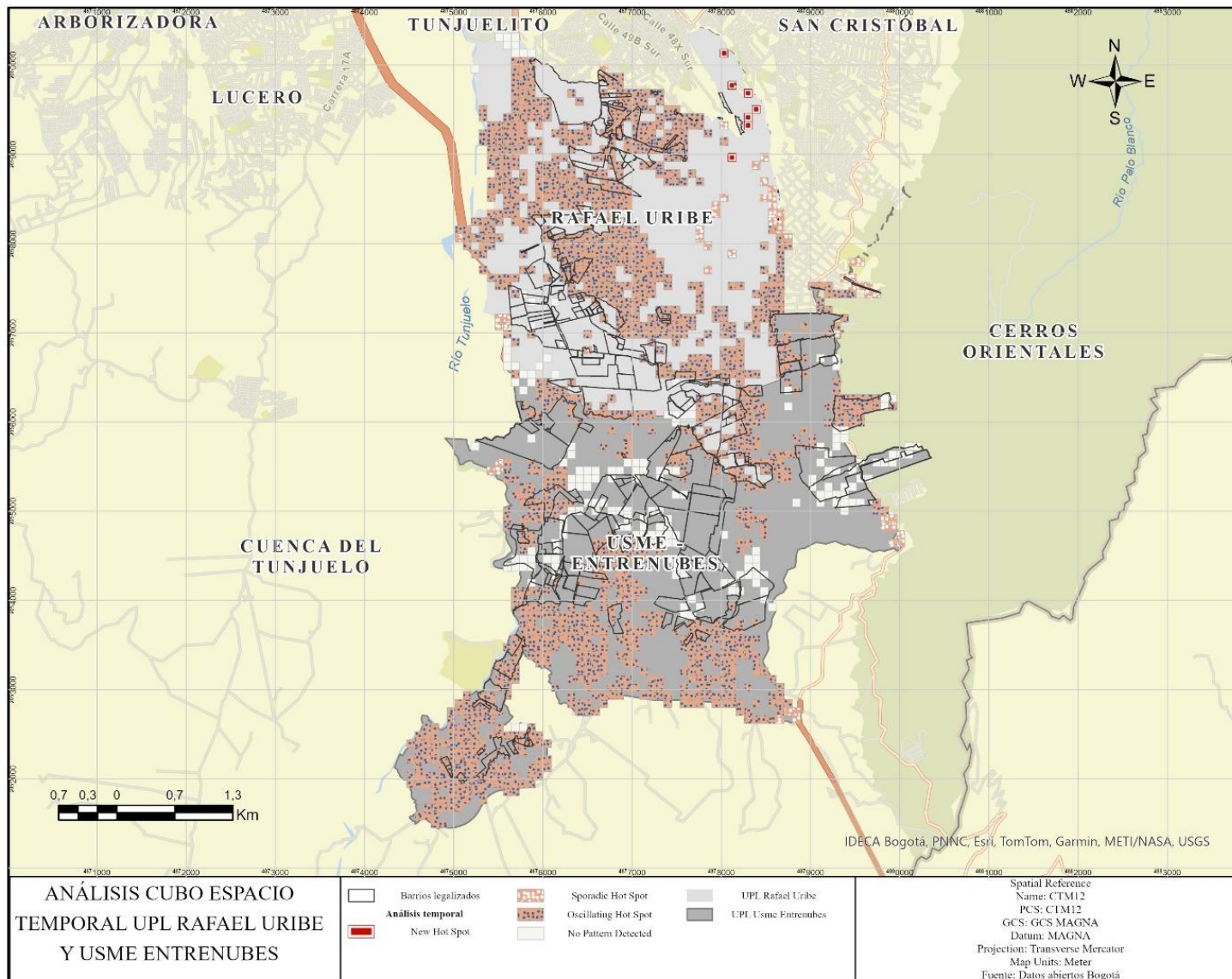


Figura 25. Análisis cubo - temporal UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes, respecto al área de barrios legalizados

5.3 Contraste dinámico de crecimiento urbano para las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes en función del Decreto 555 de 2021

El Decreto 555 de 2021, que adopta el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) vigente para Bogotá, incorpora la gestión del riesgo como un eje estratégico e ineludible en la planificación urbana y territorial. Este marco normativo promueve una visión de ciudad inteligente y resiliente, articulada con los principios de sostenibilidad ambiental, adaptación al cambio climático y transformación digital del gobierno urbano.

Uno de los aspectos centrales del decreto es la incorporación de tecnologías de información, sensores remotos e instrumentos de teledetección, orientados a mejorar la comprensión y gestión de la amenaza. Este concepto incluye explícitamente el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el procesamiento de imágenes satelitales, herramientas fundamentales en el análisis realizado en el presente estudio. Si bien para la presente investigación se consideró deseable analizar la variable de riesgos, no fue posible acceder a esta información, por lo cual se utilizó la temática de amenazas naturales.

El enfoque adoptado en esta investigación se alinea plenamente con esta visión: mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales y el uso de Sistemas de Información geográfica, se evalúa la relación entre la expansión urbana en las Unidades de Planeamiento Local (UPL) Entrenubes y Rafael Uribe, y las zonas de amenaza ambiental establecidas en el POT, tales como amenaza por remoción en masa, incendios forestales, avenidas torrenciales, suelos de protección y zonas de equipamiento.

Este tipo de análisis permite no solo identificar superposiciones entre urbanización y zonas no aptas para el desarrollo urbano, sino también generar evidencia espacial concreta que fortalece los procesos de planificación y monitoreo del territorio. En ese sentido, la presente investigación se enmarca en los lineamientos técnicos, normativos y tecnológicos promovidos por el POT “Bogotá Reverdece 2022–2035”, y contribuye a la producción de conocimiento para una gestión territorial preventiva, adaptativa y basada en datos espaciales.

5.3.1 Análisis de amenaza de incendios forestales

En el marco del artículo 51 del Decreto Distrital 555 de 2021, el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) señala que las zonas de amenaza alta se caracterizan por pendientes pronunciadas y alta cobertura vegetal, condiciones que, combinadas con temperaturas elevadas, favorecen la rápida propagación del fuego. En este contexto, entre 2014 y 2023, la localidad de Usme se posicionó como una de las más afectadas por incendios forestales en Bogotá, con un total de 39 eventos reportados y una superficie impactada de 35,3 hectáreas.

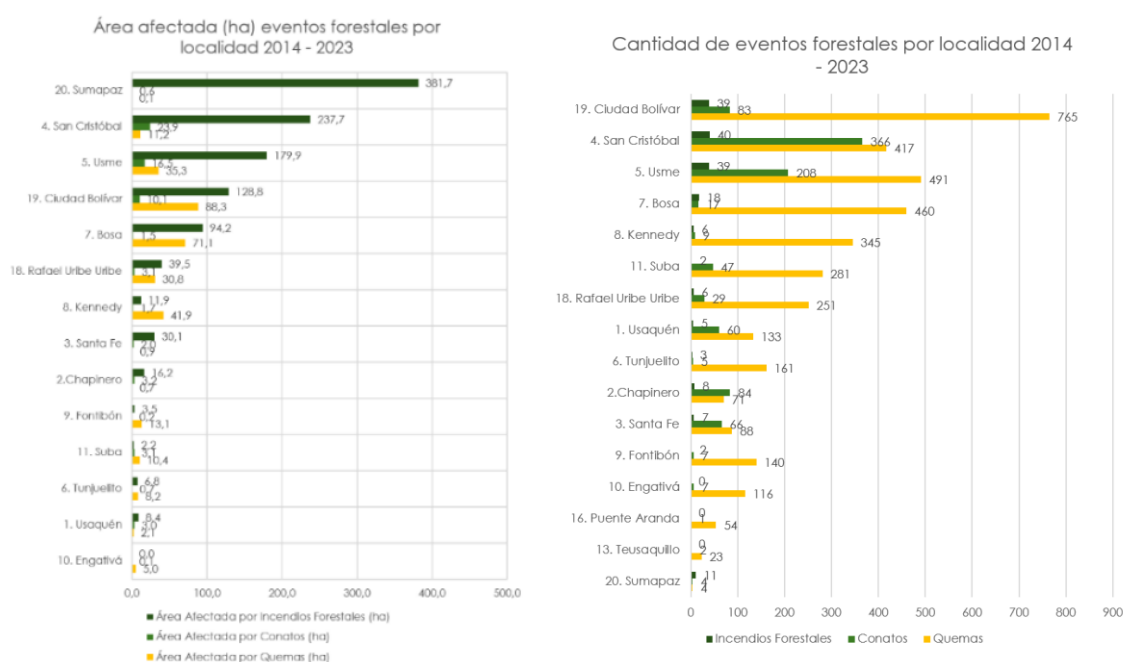


Figura 26. Área afectada en hectáreas de eventos forestales por localidad (2014-2023) [79]

El análisis de la dinámica de expansión urbana entre 2016 y 2025 evidencia un crecimiento en las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes, con una diferencia significativa en la magnitud del fenómeno. Mientras que Rafael Uribe presenta un incremento gradual, alcanzando 8,95 hectáreas en 2025, Usme Entrenubes muestra un comportamiento mucho más acelerado, al pasar de 2,16 a 25,01 hectáreas en el mismo periodo. De esta expansión, se identificaron 33,96 hectáreas urbanizadas sobre zonas clasificadas como de amenaza alta por incendios forestales, lo que representa el 2,92% del total de expansión urbana registrada en el área de estudio durante el periodo de análisis (Figura 27). Esta información constituye un insumo para la identificación temprana de áreas críticas donde la expansión presiona zonas de protección.

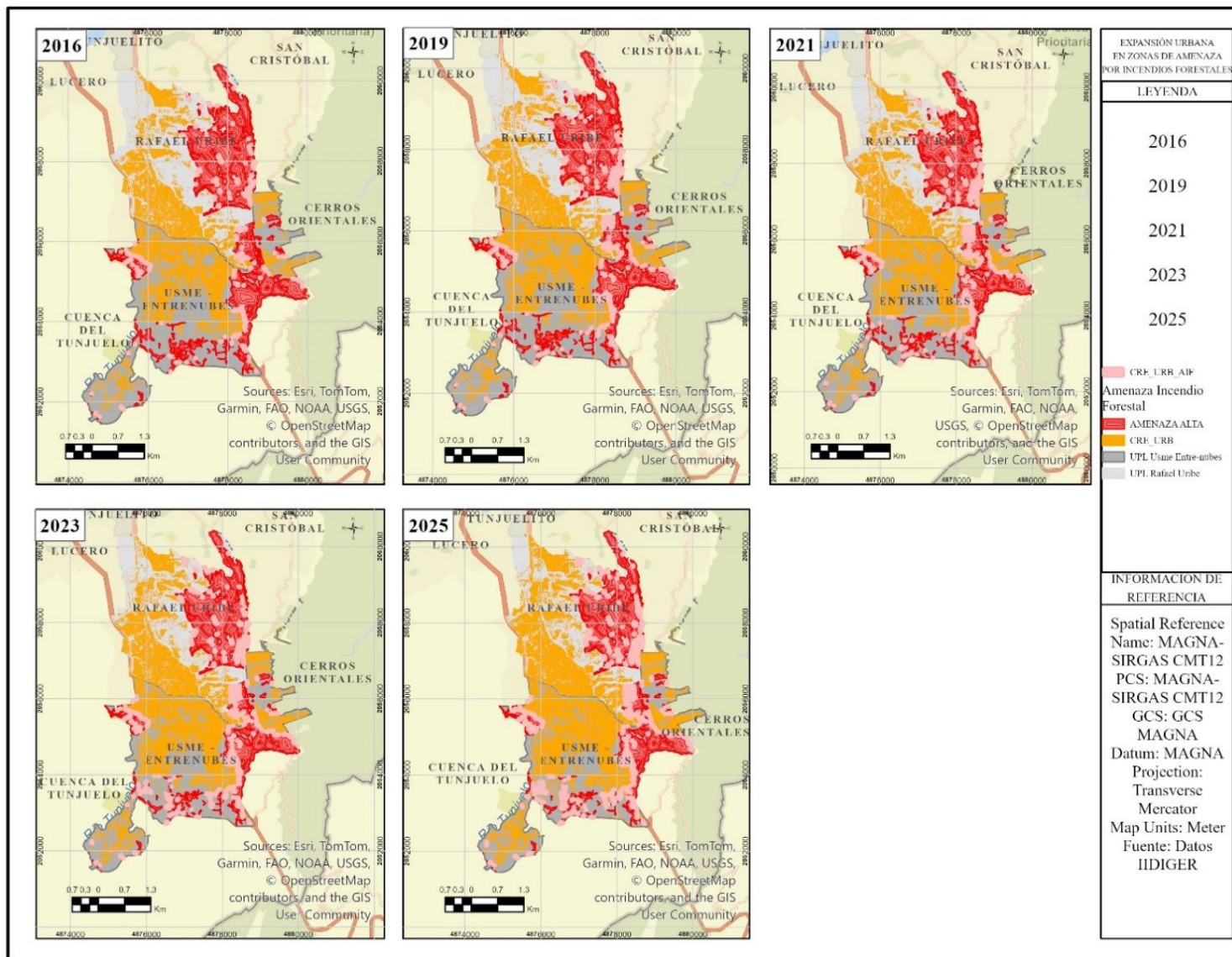


Figura 27. Comportamiento del área de crecimiento urbano en áreas de amenaza alta por incendios forestales según el POT desde 2016 hasta 2025

5.3.2 Análisis de amenaza de remoción en masa

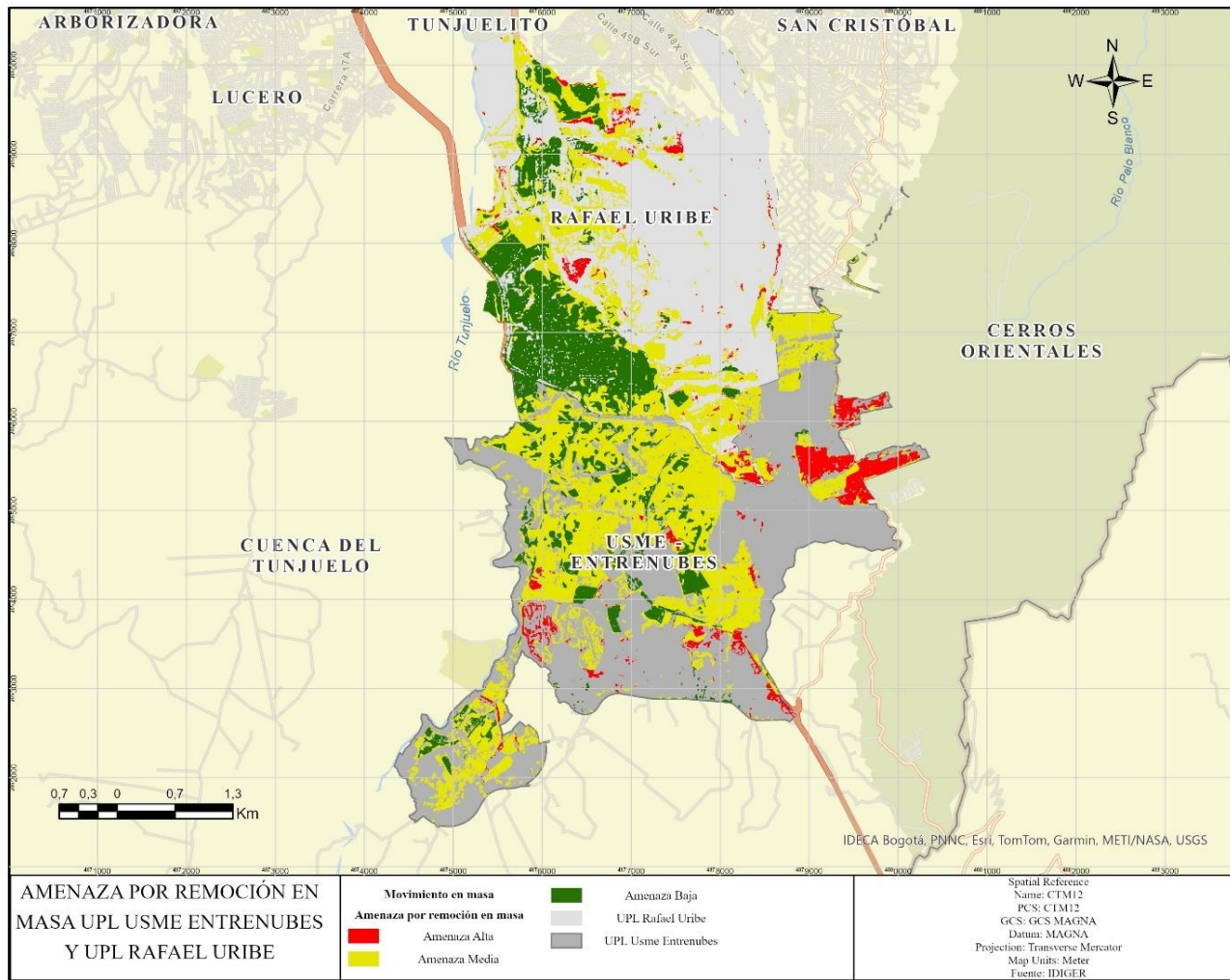


Figura 28. Amenaza UPL análisis por amenaza de remoción en masa

La caracterización de los niveles de amenaza por remoción en masa en las unidades de planificación local (UPL) Usme Entrenubes y Rafael Uribe evidencia diferencias significativas en la distribución de la amenaza dentro del territorio, las cuales deben ser consideradas en los procesos de expansión urbana. Geográficamente, se evidencia que presenta una amenaza alta colindando con los cerros de la UPL Usme Entrenubes, tal cómo se evidencia en la Figura 28. Adicionalmente, en esta misma UPL se observa un claro predominio del nivel de amenaza media, con un total de 478,97 hectáreas, lo que representa el 73,2% del área analizada. Le sigue la amenaza baja, con 102,43 ha (15,7%), y finalmente la amenaza alta, que ocupa 72,68 ha, equivalentes al 11,1%. Esta distribución sugiere que, si bien la mayor parte del territorio se encuentra bajo condiciones de inestabilidad moderada, hay una proporción significativa expuesta a amenaza alta, lo cual puede comprometer la seguridad de futuras ocupaciones urbanas, especialmente en zonas de borde o ladera.

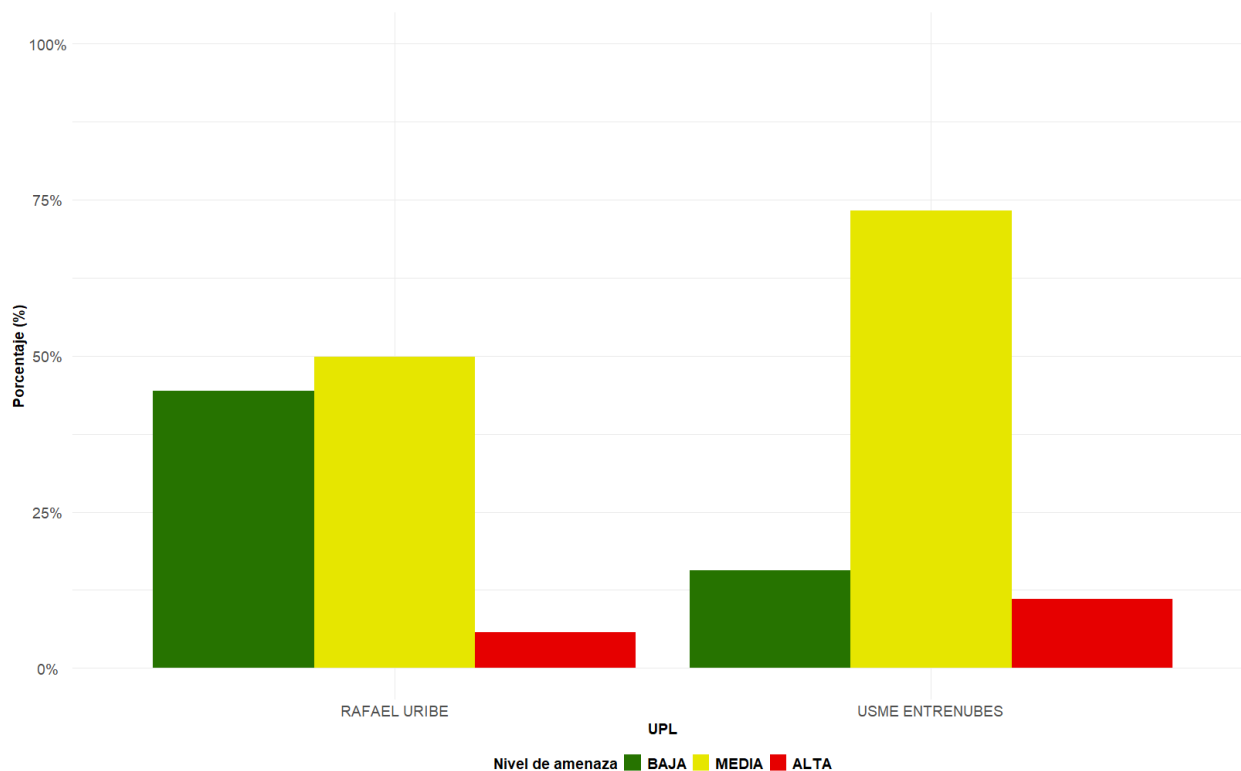


Figura 29. Áreas afectadas por amenaza de remoción en masa para la UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes para la localidad de Usme

En contraste, la UPL Rafael Uribe presenta una distribución más uniforme entre los niveles de amenaza baja y media. La amenaza media abarca 252,72 ha, equivalentes al 49,8% del área, mientras que la amenaza baja cubre 224,96 ha (44,4%). Aunque en menor proporción, también se identifica un sector con amenaza alta que suma 29,32 ha, correspondiente al 5,8%. Si bien este

porcentaje es menor que en Usme Entrenubes, su existencia justifica la atención de las autoridades en la definición de lineamientos para usos del suelo y planificación del desarrollo urbano. Estas cifras permiten concluir que ambas UPL enfrentan una presión urbana sobre áreas con condiciones de amenaza particularmente por remoción en masa. La situación en Usme Entrenubes resulta más crítica por la mayor proporción de amenaza alta y media, lo cual debe ser un insumo clave para orientar el crecimiento urbano hacia zonas más seguras.

La integración de estos resultados al análisis territorial constituye una herramienta fundamental para la gestión del riesgo en el marco del ordenamiento territorial, conforme a lo dispuesto en el Decreto 555 de 2021 y el enfoque de sostenibilidad territorial Figura 29. De esta manera, se contribuye a evitar asentamientos en áreas inestables y se promueve un desarrollo urbano seguro y resiliente.

En términos de barrios legalizados para las UPL se identificaron 202 barrios legalizados con alguna amenaza por remoción en masa, lo que da un total de 634 ha en amenaza de remoción en masa. Por ejemplo, para la UPL de Usme Entrenubes, son los barrios de Villa Diana, Villa Rosita y Parcelación de San Pedro, aquellos que contienen la mayor área en términos de amenaza alta en remoción en masa, con 14,55 ha, 8,67 ha y 8,41 ha, respectivamente. Por su parte para la UPL de Rafael Uribe, son los barrios de Yopal, Sierra Morena, La Fiscalía sector centro y Danubio Azul, aquellos con la mayor área con amenaza alta, con 2,93 ha, 2,76 ha, 2,15 ha y 2,13 ha, respectivamente.

Para los barrios en proceso de legalización son los barrios de Villa Juliana para la UPL de Usme Entrenubes y el Mirador de Tocaima para la UPL de Rafael Uribe aquellos con mayor incidencia, con un área de amenaza alta de 0,9 ha y 0,5 ha, respectivamente.

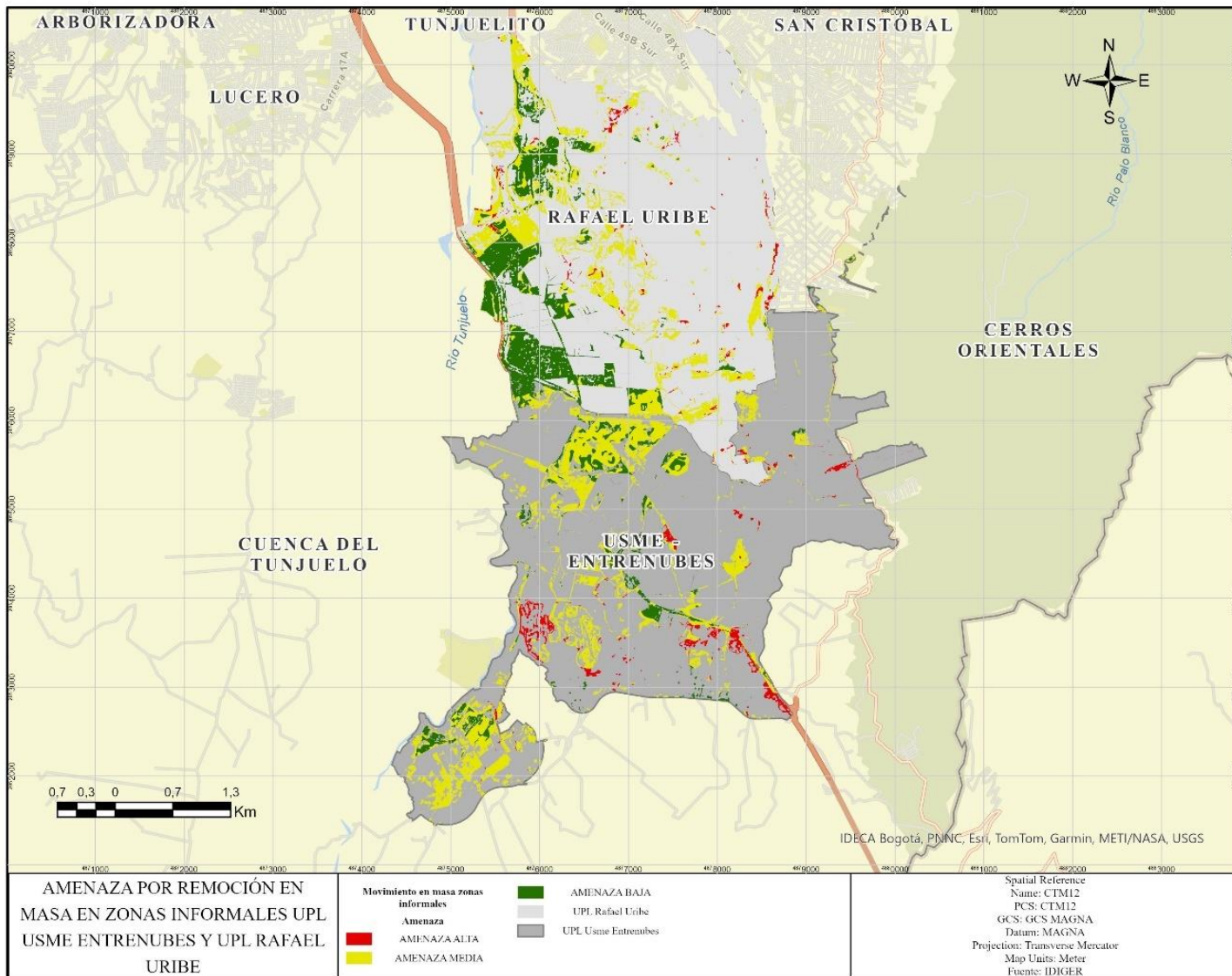


Figura 30. Amenaza por remoción en masa en áreas no legalizadas en la localidad de Usme UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes

El análisis espacial muestra que los barrios informales en Usme Entrenubes se concentran mayoritariamente en áreas de amenaza media (71,1%), seguidas de un 10,1% en amenaza alta, lo que refleja una elevada exposición a procesos de inestabilidad territorial. En contraste, solo el 18,8% del territorio corresponde a amenaza baja, lo que indica que la urbanización informal en esta UPL se desarrolla principalmente en zonas frágiles, vinculadas a pendientes pronunciadas, suelos no aptos para la construcción y proximidad a áreas de protección ambiental, tal como se profundiza en el capítulo 5.3.3.

En el caso de Rafael Uribe, la distribución resulta más equilibrada: el 52% del área se ubica en amenaza media, un 43,2% en amenaza baja y apenas un 4,8% en amenaza alta. Esta configuración sugiere que, si bien existe una importante proporción de amenaza media, la presencia de áreas con condiciones bajas es mucho mayor que en Usme Entrenubes. En síntesis, los resultados permiten concluir que Usme Entrenubes enfrenta una situación más crítica que Rafael Uribe, al concentrar la mayoría de sus procesos de urbanización informal en zonas de amenaza media y alta, aunque en ambas UPL los hallazgos resultan relevantes para la comprensión de la relación entre expansión informal y amenaza.

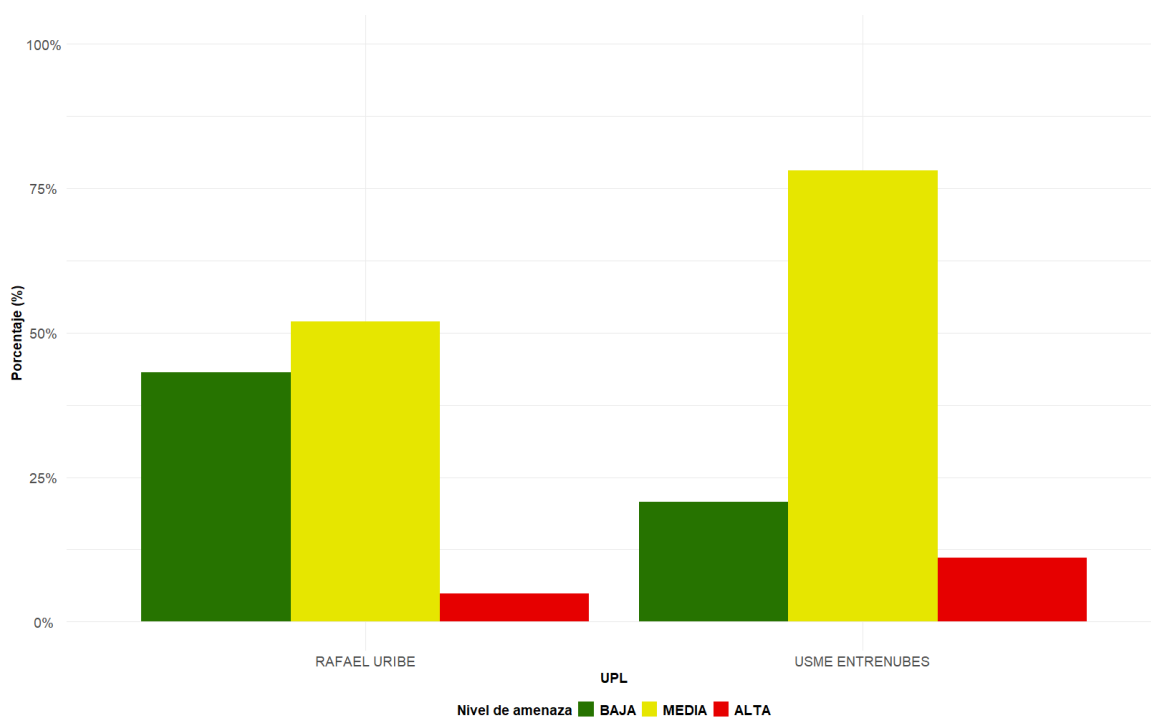


Figura 31. Áreas afectadas por amenaza de remoción en masa para la UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes para la localidad de Usme barrios informales

La Figura 31 evidencia el porcentaje de los niveles de amenaza sobre el territorio analizado, donde predominan las zonas en amenaza media, de color amarillo, que se extienden de manera dispersa en gran parte del área, seguidas de sectores en amenaza baja, de color verde, localizados principalmente hacia el norte y en algunos núcleos centrales, mientras que las áreas en amenaza alta, de color rojo, se presentan de manera fragmentada hacia los bordes y sectores específicos del territorio. Esta configuración muestra que la urbanización informal se desarrolla principalmente en condiciones de amenaza media, con presencia significativa de áreas identificadas como amenaza alta, lo cual incrementa la vulnerabilidad de las comunidades asentadas frente a deslizamientos y procesos de inestabilidad de ladera.

En consecuencia, los resultados reflejan que la expansión informal no solo responde a dinámicas de crecimiento poblacional, sino también a la ocupación de suelos frágiles y ambientalmente restringidos. Este hallazgo plantea la necesidad de acciones de planificación territorial y gestión del riesgo orientadas a mitigar las amenazas y prevenir la consolidación de nuevos asentamientos en zonas críticas. Asimismo, la información derivada del análisis multitemporal y del contraste con el POT constituye un insumo para la identificación temprana de áreas donde la expansión urbana presiona zonas de amenaza alta por remoción en masa, incendios forestales, suelos de protección y avenidas torrenciales, entre otros, lo cual puede orientar la priorización institucional en términos de monitoreo, control y gestión del territorio.

5.3.3 Análisis de amenaza en suelos de protección

En el Distrito Capital, aproximadamente el 53% del territorio corresponde a suelos de protección, los cuales se caracterizan por su restricción para ser urbanizados debido a factores geográficos, condiciones ambientales o su localización en áreas de amenaza. En el área de estudio, se identificó que 12,3 hectáreas de crecimiento urbano registrado al final del periodo de análisis en 2025 se ubican en zonas de amenaza, conforme a lo establecido en el Decreto Distrital 555 de 2021. Adicionalmente, 5,8 hectáreas de esta expansión se localizan en zonas clasificadas como de amenaza alta no urbanizable. En conjunto, estas áreas representan el 1,55% del total de la expansión urbana registrada en el periodo de análisis. Se identificaron 41 barrios con algún grado de superposición con estas zonas de restricción, siendo los de mayor incidencia: Arrayanes V (1,14 ha), Barranquillita (0,63 ha) y Bolonia (0,24 ha).

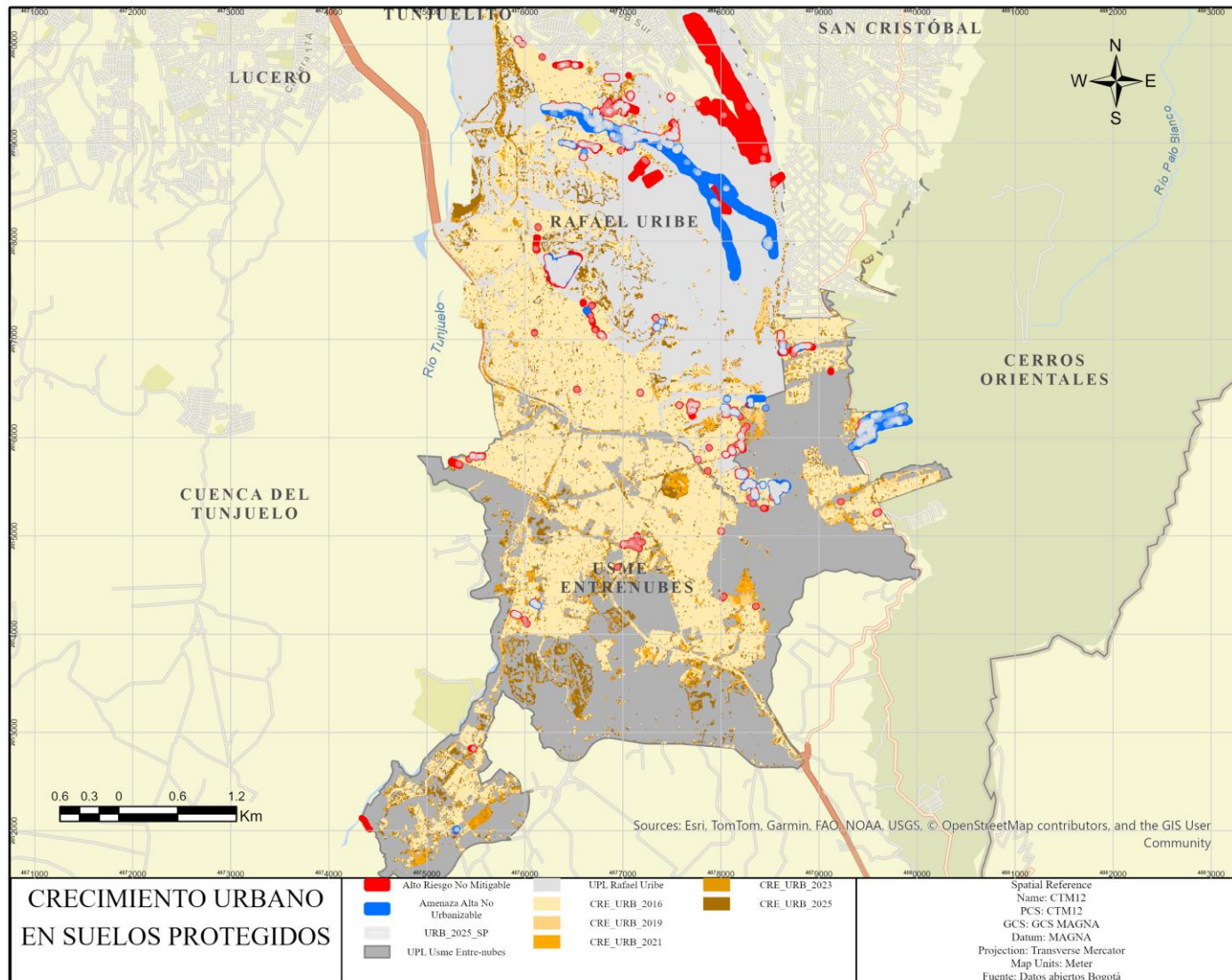


Figura 32. Crecimiento urbano en suelos protegidos según el POT

5.3.4 Análisis de amenaza para avenidas torrenciales

En la Figura 33 se presenta la amenaza por avenidas torrenciales para ambas UPL de la localidad de Usme, se evidencia que principalmente existe una amenaza baja, con algunos focos altos, especialmente al sur y suroccidente. Las pendientes pronunciadas, la presencia de quebradas y la urbanización en áreas inestables, favorecen este fenómeno. Esto podría generar afectaciones a las comunidades expuestas a inundaciones que podrían darse por eventos extremos de precipitación.

El patrón observado puede explicarse por una combinación de factores naturales y antrópicos. La cuenca del Río Tunjuelo, compuesta por 7 de las 20 localidades (Sumapaz, Usme, Ciudad Bolívar, Tunjuelo, Bosa, Kennedy y San Cristóbal) y una mínima extensión de Soacha, se encuentra en una posición geográfica que lo hace vulnerable a varias amenazas [80]. Esta cuenca está sujeta a la deforestación, lo que puede aumentar la erosión del suelo y la sedimentación del río, reduce la capacidad de almacenamiento de agua y aumenta el riesgo de inundaciones durante la temporada de lluvias. Además, el cambio climático también influye en la disponibilidad de agua en la cuenca, con la posibilidad de sequías prolongadas o eventos de lluvia extremos [81]. Estos resultados subrayan la necesidad de implementar medidas integrales de gestión del riesgo, como el ordenamiento territorial basado en amenazas naturales, la recuperación ecológica de rondas hídricas y la educación comunitaria en prevención de desastres.

En total, para la UPL de Usme Entrenubes, se presenta una amenaza alta sobre un área de 3,7 ha que representa en 0,6% de la urbanización total de la UPL con 654 ha totales para el 2025. Por su parte, para la UPL de Rafael Uribe el área en amenaza alta es de 2,2 ha, el cual representa un 0,4% del total de la urbanización de la UPL con un total de 507 ha construidas. Para la amenaza media, 3,7 (0,6%) ha y 0,7 (0,1%) ha, se encuentran comprometidas para las UPL de Usme Entrenubes y Rafael Uribe, respectivamente.

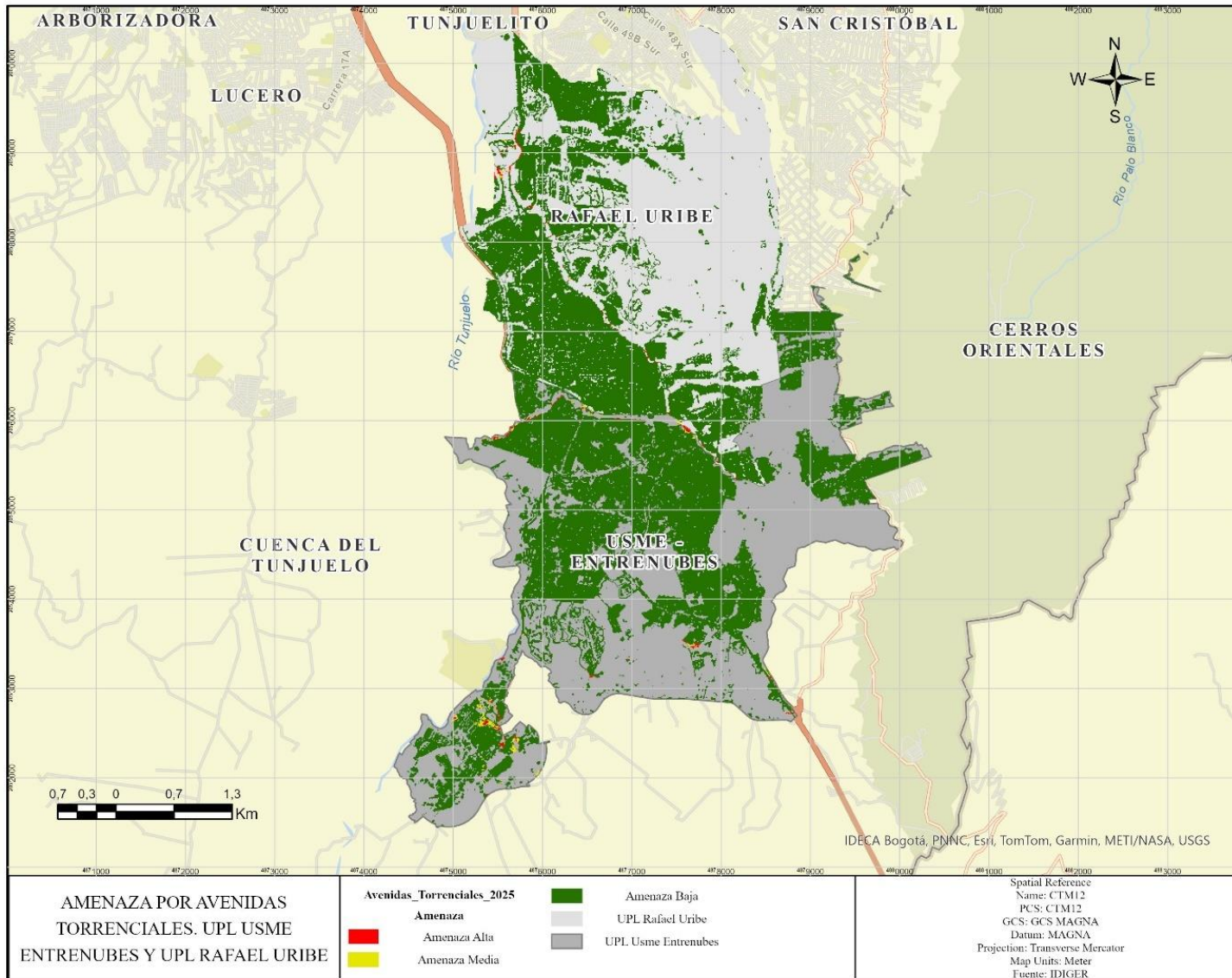


Figura 33. Amenaza de urbanización por avenidas torrenciales

El análisis de los resultados de amenaza por avenidas torrenciales en barrios formalizados evidencia diferencias claras entre las UPL de Usme Entrenubes y Rafael Uribe. En Usme Entrenubes se concentran las superficies más amplias bajo condición de amenaza alta, con casos destacados como Monte Blanco (4674 m²) y Chapinerito (3144 m²), que superan ampliamente a los demás barrios. Además, barrios como Vereda El Pedregal – La Lira, Ciudadela El Oasis y Montevideo también registran extensiones considerables, lo que muestra que esta UPL presenta una mayor vulnerabilidad territorial frente a procesos torrenciales debido a la localización de urbanizaciones en torno a cauces, quebradas y laderas con alta inestabilidad hídrica.

Por su parte, en la UPL Rafael Uribe la distribución de la amenaza alta por avenidas torrenciales se caracteriza por superficies más reducidas que en la UPL Usme Entrenubes, aunque no menos relevantes, barrios como San Felipe (677 m²) y Arizona (608 m²) lideran en extensión, seguidos de Santa Librada La Sureña, Villa Alejandría y Sierra Morena, con valores entre 400 m² y 580 m² afectados por este tipo de amenaza. Esto indica que en esta UPL la amenaza alta por avenidas torrenciales existe, pero de manera más localizada y fragmentada, lo que reduce la magnitud espacial de la amenaza en comparación con Usme Entrenubes.

En relación con los barrios en proceso de formalización, en la UPL de Usme Entrenubes se identifican tres asentamientos localizados en zona de alta amenaza por avenidas torrenciales. El de mayor extensión corresponde a Usme Centro, con un área de 1.679 m², seguido por Usme La Castellana, con 963 m², y finalmente Campo Verde, con 59 m². Es relevante señalar que en la UPL de Rafael Uribe no se registran barrios en proceso de legalización expuestos a amenaza alta, según el análisis geográfico realizado. Estos resultados, al contrastarse con los hallazgos en barrios formalizados, permiten concluir que la población asentada en ambas UPL enfrenta afectaciones directas derivadas de la ocupación de suelos frágiles, lo que evidencia una presión constante sobre áreas con condiciones de inestabilidad y resalta la necesidad de fortalecer estrategias de gestión del riesgo en los procesos de consolidación y formalización urbana.

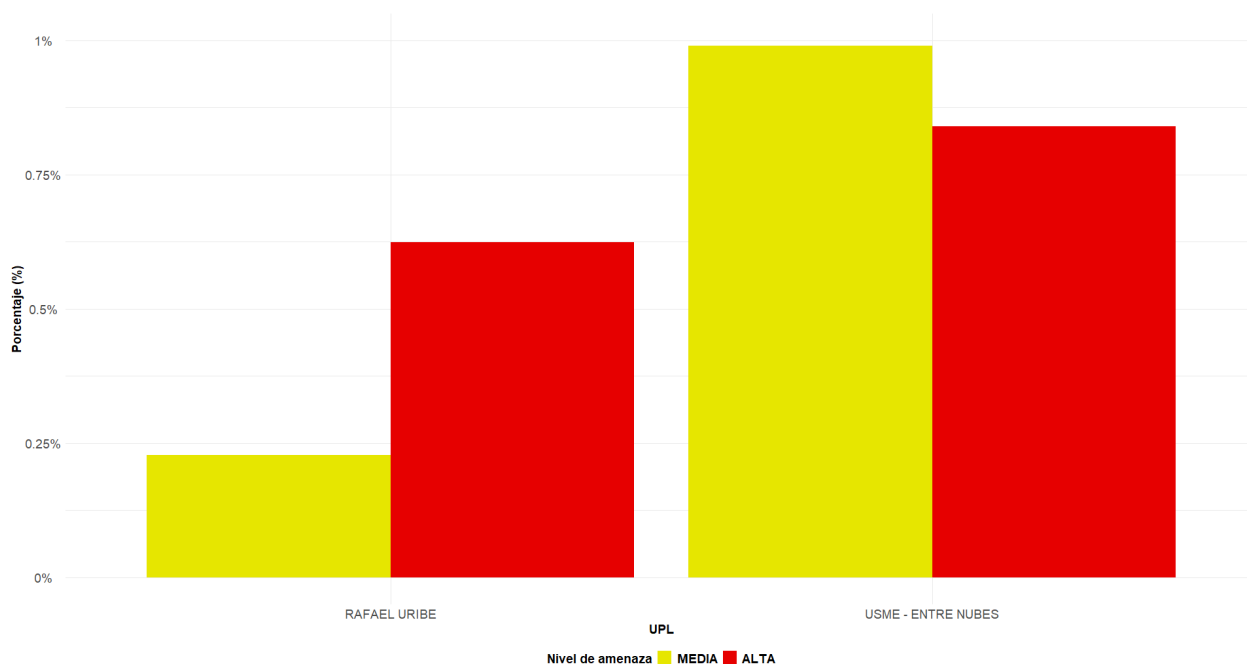


Figura 34. Amenaza de urbanización por avenidas torrenciales para barrios no formalizados (se excluye del análisis la categorización de amenaza baja)

La Figura 34, presenta la amenaza por avenidas torrenciales en barrios no formalizados para la UPL de Rafael Uribe y Usme Entrenubes. En la UPL Rafael Uribe, la amenaza por remoción en masa presenta valores reducidos en comparación con otras zonas analizadas. Los porcentajes se concentran principalmente en el nivel de amenaza alta (0,6%), mientras que la amenaza media apenas alcanza un 0,23%. Por otro lado, en la UPL Usme Entrenubes la situación es más crítica, pues los porcentajes de áreas en amenaza media (1%) y alta (0,85%) superan ampliamente a los de Rafael Uribe. Esto sugiere que el territorio presenta una mayor susceptibilidad a procesos de avenidas torrenciales, lo que implica una mayor amenaza a inundaciones en áreas susceptibles, tal como se evidencia en la Figura 35.

El hallazgo central radica en que, aunque la amenaza está presente en ambas UPL, en Usme Entrenubes adquiere una magnitud considerablemente mayor frente a Rafael Uribe. A pesar de ello, se revela la necesidad de priorizar medidas de planificación territorial y gestión del riesgo en ambas UPL, para mitigar posibles impactos asociados a la ocurrencia de avenidas torrenciales.

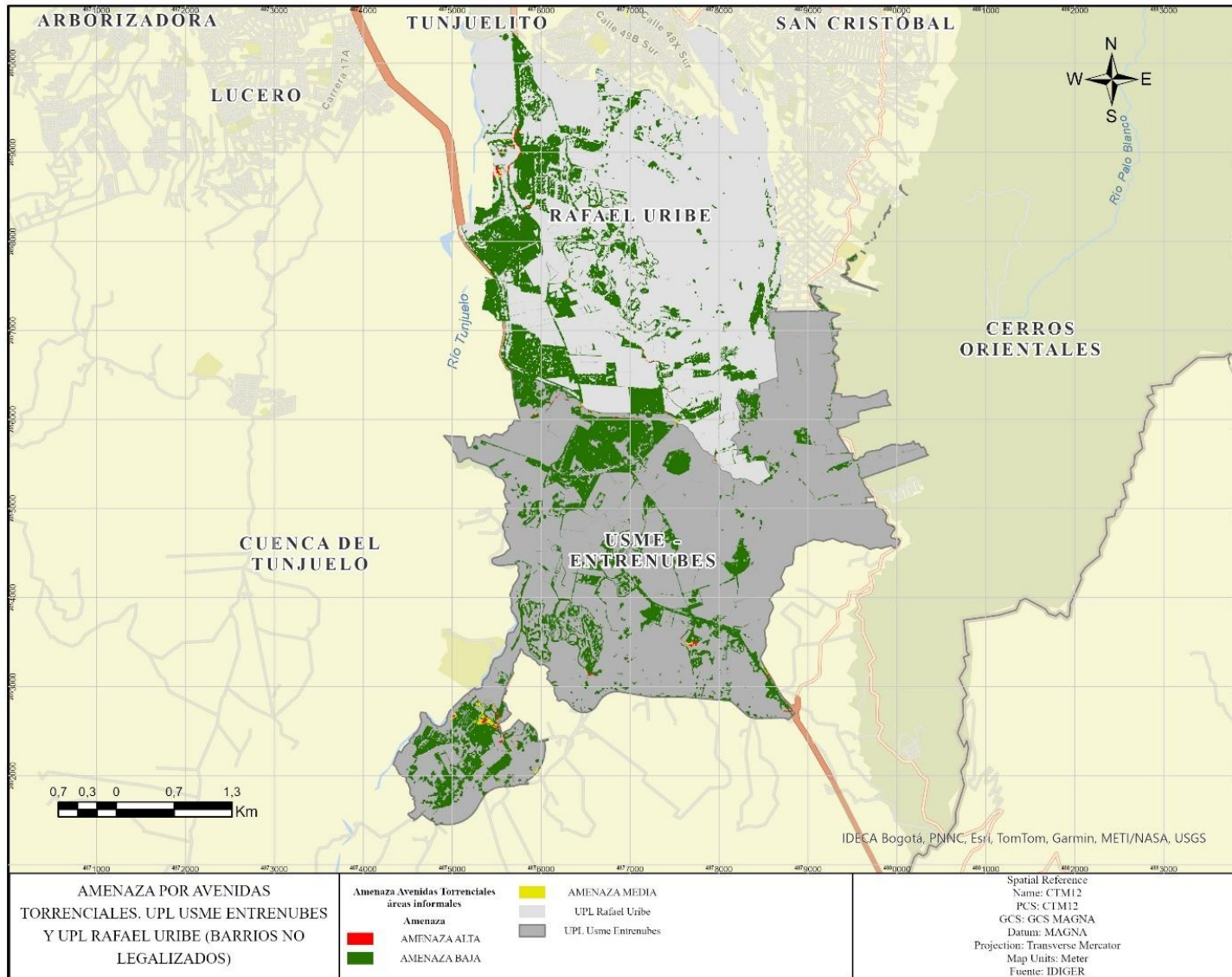


Figura 35. Amenaza para avenidas torrenciales en áreas no legalizadas en la localidad de Usme UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes

5.3.5 Conflictos de crecimiento urbano en zonas de equipamiento

5.3.5.1 Conflictos de urbanización 2025 en la UPL Usme Entrenubes

La Figura 36 muestra las áreas urbanas identificadas para el periodo 2025 que se encuentran incluidas en los proyectos del Plan de Ordenamiento Territorial (POT). En la UPL Usme Entrenubes, correspondiente a la localidad de Usme, se identificaron cuatro proyectos que confluyen con las áreas urbanizadas ubicados al suroccidente de la UPL [63], ellos son:

1. Conector vital y de proximidad del Tunjuelo al Gavilán
2. Alameda Entre quebradas - Tramo I y II
3. Alameda Usme Patrimonial
4. Circuito Entre Domos

Es importante destacar que esta ocupación afecta la funcionalidad ecológica de las áreas protegidas y amenaza los objetivos ambientales y de restauración planteados por los proyectos. La urbanización informal en estos sectores limita la capacidad de restauración de los cuerpos de agua, incrementa los riesgos asociados a la ocupación de áreas con restricciones ambientales y genera tensiones en la implementación del modelo de ordenamiento territorial propuesto.

Por ello, resulta crucial implementar medidas de manejo diferenciado y estrategias de integración socioambiental. Estas estrategias deben incluir procesos de reubicación, mitigación, mejoramiento barrial o adaptación progresiva, según las características específicas de cada asentamiento, y deben coordinarse estrechamente con las entidades distritales competentes para garantizar su efectividad.

En primer lugar, el Conector Vital y de Proximidad del Tunjuelo al Gavilán cuenta con una extensión total de 37,93 hectáreas, de las cuales 13,05 hectáreas presentan actualmente usos urbanos, lo que representa el 34,4 % del área total del conector. Este proyecto hace parte de la infraestructura ecológica estratégica definida por el POT, y tiene como objetivo principal la recuperación y restauración ambiental de las quebradas La Fucha y La Mediana. Su propósito es mejorar la calidad del agua, restablecer los corredores ecológicos, promover la biodiversidad urbana y consolidar espacios públicos naturales que sean seguros, funcionales y ambientalmente sostenibles. Así mismo, se contempla la consolidación y cualificación de parques existentes, como

el Parque Puerta al Llano, el cual se configura como un nodo articulador entre el tejido urbano y el Cerro Gavilán, facilitando su integración ecológica y social con la quebrada La Fucha [63]. Igualmente, se proyecta la creación de nuevos parques, plazas y espacios públicos, que mejoren el entorno urbano y amplíen la oferta ambiental del sector.

En cuanto a la Alameda Entrequembradas – Tramos I y II, se identifican 100,06 hectáreas urbanizadas dentro de un área total de 120,2 hectáreas, lo que corresponde a una ocupación del 83,24 %, siendo este el proyecto con mayor superposición urbana dentro de la UPL. La intervención propuesta busca la recuperación y puesta en valor de los cuerpos hídricos y quebradas presentes en áreas residenciales, generando un sistema de espacios abiertos y accesibles para peatones y habitantes, que favorezca la integración ecológica y social [63].

Por su parte, el proyecto Alameda Usme Patrimonial [63] presenta una superposición urbana aproximada del 40 % sobre una superficie total proyectada de 22,53 hectáreas, con una ocupación urbana actual de 9,8 hectáreas. Este proyecto plantea la creación de una alameda peatonal como circuito integrador en el Centro Fundacional de Usme, con el fin de articular diversos puntos de interés a través de una calle pública de uso prioritariamente peatonal. El recorrido conectará espacios clave como la plaza de eventos, la plaza fundacional, los bienes de interés cultural y los accesos al Parque Arqueológico Hacienda El Carmen.

Finalmente, el Circuito Entre Domos [63] presenta una ocupación urbana de 24,9 hectáreas sobre un área total de 116,4 hectáreas, lo que equivale a un 21,4 %. Este proyecto se centra en la creación de un circuito ecológico, recreativo, deportivo y cultural, cuyo principal objetivo es la recuperación y valoración del río Tunjuelo, así como la promoción del patrimonio natural y cultural presente en la UPL Usme Entrenubes.

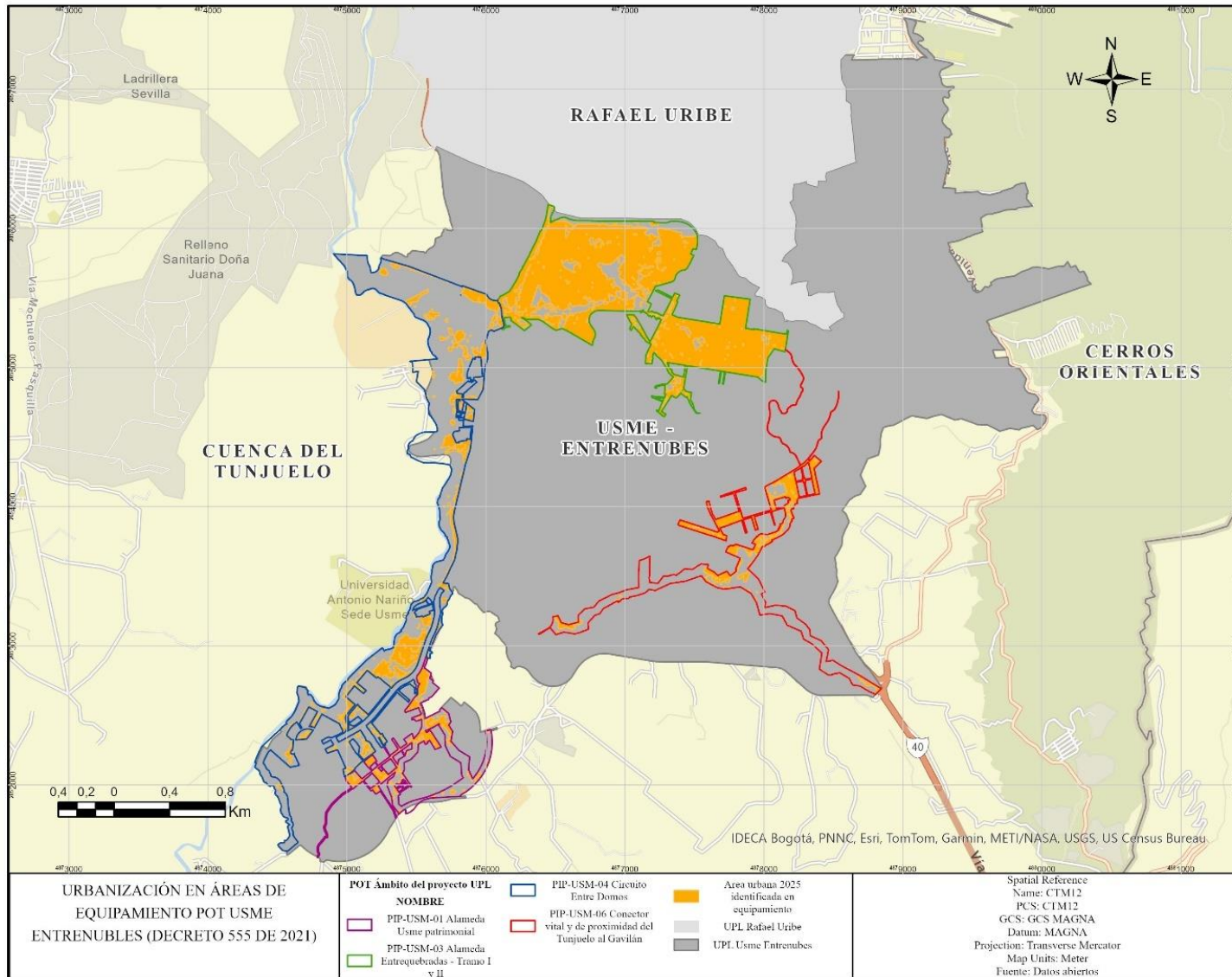


Figura 36. Áreas urbanas dentro de proyectos del POT Usme Entrenubes

5.3.5.2 Conflictos de urbanización 2025 en la UPL Rafael Uribe

En la UPL Rafael Uribe se identifican tres áreas urbanas que presentan conflicto con las zonas designadas para proyectos estratégicos del POT dentro del ámbito del proyecto. Uno de los casos más relevantes es el Conector Vital y de Proximidad Hoya del Ramo, el cual interseca con un área urbana existente de 19.85 hectáreas. Este conector, propuesto en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), está concebido como un corredor ecológico y de movilidad activa que atraviesa la UPL Rafael Uribe. El propósito de esta intervención es transformar la experiencia urbana mediante la creación de un espacio público continuo, seguro, verde y dinámico, que fomente tanto la conexión funcional entre sectores como el fortalecimiento de la identidad local.

La intervención contempla una superficie total aproximada de 43 hectáreas, lo cual indica que actualmente el 46 % del área destinada al conector se encuentra ocupada por desarrollos urbanos preexistentes. Esta superposición genera tensiones entre la planificación ecológica y la expansión urbana, y plantea retos significativos para la implementación efectiva del proyecto.

Finalmente, las otras dos áreas en conflicto dentro de la UPL corresponden a los proyectos Conector Vital y de Proximidad del Infierno a La Arboleda – Tramo II y la Red de Miradores del Sur – Tramos I y II. Ambos presentan procesos de urbanización preexistente que interfieren con los desarrollos proyectados. En el primer caso, se identifican 2.7 hectáreas de área urbana existente sobre una superficie total proyectada de 30.6 hectáreas; en el segundo, 0.8 hectáreas sobre 15.2 hectáreas contempladas para la intervención. Estas superposiciones, aunque de menor magnitud en comparación con el caso del Conector Hoya del Ramo, también representan desafíos para la implementación del POT, al requerir ajustes en diseño, gestión predial o procesos de concertación comunitaria para asegurar la viabilidad de los proyectos estratégicos sin comprometer el equilibrio territorial ni la función ecosistémica de los espacios planificados.

El análisis evidencia que parte de las superficies urbanizadas recientes coincide con áreas destinadas por el POT para el desarrollo de equipamientos y proyectos estructurantes. Este contraste permite reconocer zonas donde las dinámicas de ocupación informal pueden generar conflictos en la implementación futura de estos proyectos, especialmente en aquellos que buscan

consolidar corredores ecológicos, infraestructuras de movilidad peatonal o espacios de recreación y proximidad.

Al superponer la expansión urbana con la planificación proyectada, es posible identificar de manera preliminar los sectores donde podría ser necesaria una mayor atención institucional: ya sea mediante acciones de control urbanístico para evitar la consolidación de asentamientos sobre suelos destinados a equipamientos, o mediante procesos de adecuación y recuperación de áreas ocupadas que interfieren con los trazados propuestos.

En ese sentido, el contraste entre la expansión observada y los lineamientos del POT no solo muestra los conflictos actuales, sino que constituye un insumo técnico relevante para orientar la priorización de intervenciones, focalizar esfuerzos de gestión predial y anticipar potenciales restricciones en la ejecución de los proyectos urbanos de la localidad por parte de las entidades competentes.

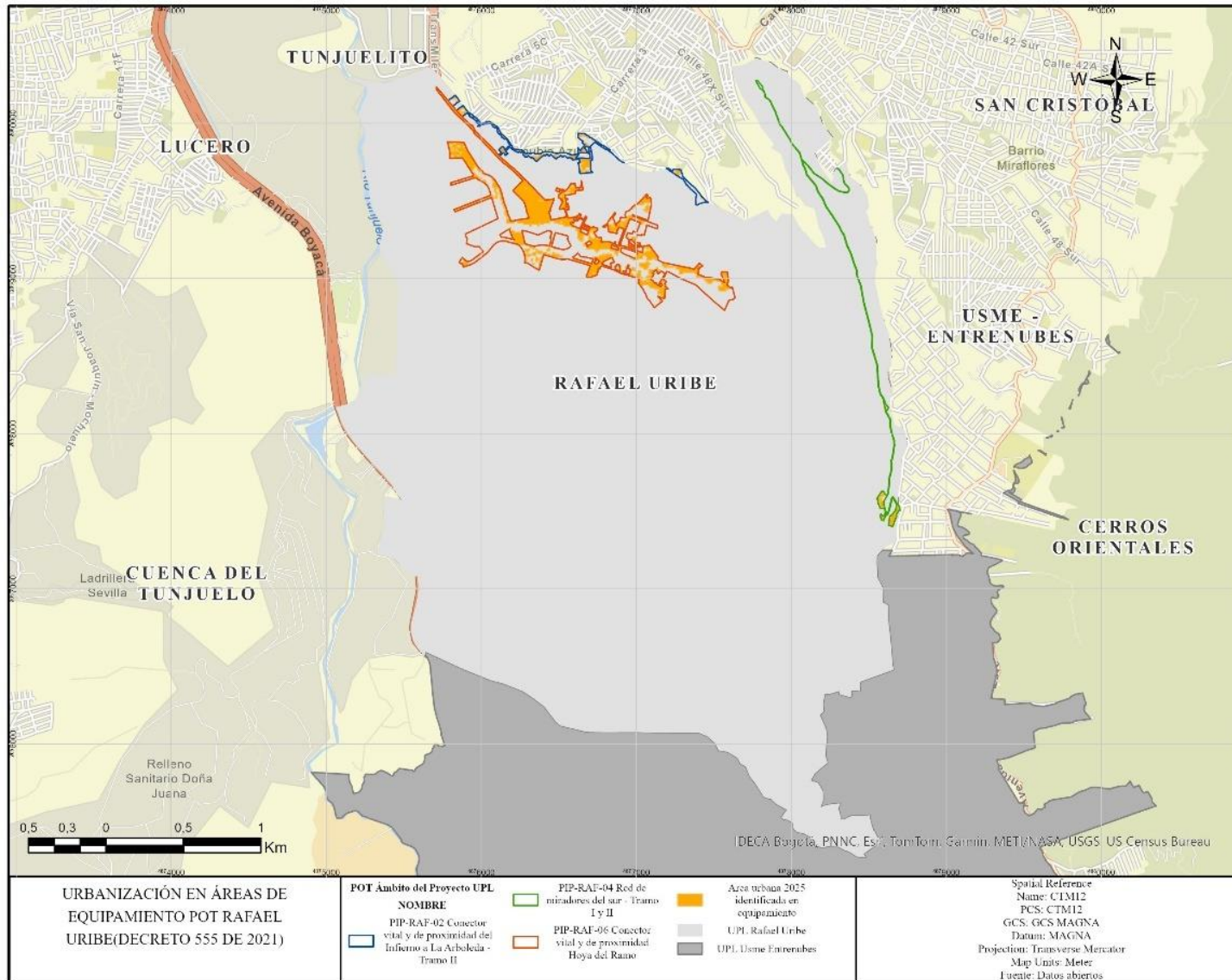


Figura 37. Áreas urbanas dentro de proyectos del POT Rafael Uribe

Implicaciones técnicas para rutas de intervención y escenarios de gestión territorial

A partir de los patrones de crecimiento urbano identificados en las UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe, es posible derivar un conjunto de implicaciones técnicas que orientan cómo la información obtenida puede integrarse en procesos de gestión y planificación territorial. Estas implicaciones no constituyen recomendaciones normativas, sino lecturas operativas derivadas directamente de los resultados:

• Rutas técnicas de intervención territorial:

Los sectores donde se comprobó la coincidencia entre expansión urbana reciente y áreas de amenaza (incendios forestales, remoción en masa, avenidas torrenciales y suelos de protección) representan zonas que pueden ser priorizadas en ejercicios de monitoreo, control urbanístico y gestión del riesgo. La identificación espacial precisa de estos polígonos permite a entidades como IDIGER y las alcaldías locales estructurar intervenciones preventivas y focalizadas.

• Escenarios de presión urbana sobre el POT:

El contraste entre la expansión detectada y los proyectos de equipamientos del POT revela escenarios donde el crecimiento informal está modificando las condiciones previstas de provisión de infraestructura. Estos hallazgos pueden servir como insumo para ajustar diagnósticos sectoriales, revisar compatibilidades y anticipar retos en la ejecución de proyectos públicos.

• Orientaciones operativas para la política pública:

Los patrones espaciotemporales identificados permiten definir tendencias de ocupación que pueden incorporarse en procesos de actualización de instrumentos como el POT, los planes maestros sectoriales o los planes de desarrollo local. La información producida aporta evidencia útil para fortalecer políticas de control urbanístico, gestión del riesgo, provisión de equipamientos y protección de suelos estratégicos.

• Potencial de integración en sistemas de monitoreo continuo:

La metodología empleada, basada en análisis multitemporal, cubo espaciotemporal y contraste normativo, es replicable y automatizable. Esto posibilita su incorporación como componente técnico de sistemas de alerta temprana y observatorios urbanos distritales, permitiendo a las instituciones anticipar tendencias y orientar decisiones basadas en datos.

CONCLUSIONES

El presente estudio tuvo como objetivo analizar la dinámica de crecimiento urbano en la localidad de Usme, específicamente en las Unidades de Planeamiento Local (UPL) Usme Entrenubes y Rafael Uribe, durante el período 2016–2025. La investigación realizada se centró en tres análisis, el primero de ellos se enfocó en el crecimiento urbano de las UPL previamente mencionadas, el segundo en el análisis del cubo espaciotemporal del área de estudio y finalmente, en el contraste con el POT “Bogotá Verdece 2022–2035” según el Decreto 555 del 2021 referente a las áreas protegidas, zonas de amenaza por remoción en masa, avenidas torrenciales e incendios forestales y zonas de equipamiento, proporcionando una comprensión integral de los patrones de ocupación y transformación del territorio en estas UPL.

Las UPL Rafael Uribe y Usme Entrenubes muestran diferencias territoriales que condicionan su exposición a amenazas naturales y el patrón de crecimiento informal. Usme Entrenubes se caracteriza por la ocupación irregular de laderas y áreas de protección, lo que incrementa su vulnerabilidad a fenómenos como deslizamientos y remoción en masa. En contraste, Rafael Uribe presenta un tejido urbano más consolidado en las zonas planas, aunque enfrenta alta densificación y presión sobre los servicios públicos, con áreas de ocupación informal concentradas en sectores periféricos. Estas particularidades reflejan cómo la estructura del territorio y la planificación urbana inciden directamente en las amenazas y en la necesidad de ordenar el crecimiento de cada localidad. A continuación, se presentan las cifras de crecimiento urbano registradas en el período de análisis.

Se evidenció que para las UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe se alcanzó un área urbana de 339,7 ha en 2025, con un incremento del 41,4% desde el 2016, pasando de 821,4 ha a 1161,1 ha urbanizadas. El período de mayor crecimiento fue el de 2023 a 2025 con 140,4 ha, mientras que el de menor crecimiento se registró entre el 2016 y el 2019 con 53,2 ha. Específicamente la UPL Usme Entrenubes presentó un aumento del 45,6%, mientras que la UPL Rafael Uribe registró un incremento del 36,2% en el periodo de análisis.

Los barrios legalizados y en proceso de legalización representaron el 55,5% del crecimiento urbano de la zona de estudio, definiendo a los barrios Danubio Azul, Monte Blanco y La Flora como los

de mayor crecimiento. Por otra parte, la informalidad sigue siendo alta, abarcando el 44,5% del crecimiento total registrado y mostrando incrementos importantes entre 2016 y 2025.

Respecto a la proyección de crecimiento urbano en el área de estudio realizada para periodos posteriores al 2026, se refleja un comportamiento de crecimiento urbano, concentrado en áreas periféricas y vulnerables. Mediante la aplicación del modelo de regresión lineal, utilizando el dato de población como variable independiente y el crecimiento urbano como variable dependiente, se logró estimar una proyección del crecimiento urbano en la zona de estudio de 1193,9 ha para 2027 y 1269,8 ha para 2029.

El análisis de cubo espaciotemporal evidencia que la expansión urbana informal en la zona de estudio mantiene una dinámica activa, lo cual nos muestra que la dinámica de informalidad en las dos UPL analizadas es muy relevante, en el periodo de estudio. Los resultados del cubo espaciotemporal y del estadístico G_i^* de Getis-Ord demuestran que la informalidad no sigue un patrón lineal de desplazamiento, sino que se manifiesta mediante núcleos de reactivación y expansión intermitente, especialmente en torno a barrios legalizados de la UPL Rafael Uribe y en los bordes en consolidación de Usme Entrenubes, impulsado por la demanda habitacional y la limitada oferta de suelo regularizado.

Los nuevos puntos calientes en el nororiente de Rafael Uribe reflejan una intensificación reciente de la urbanización informal entre 2023 y 2025 en áreas previamente consolidadas. Los puntos calientes esporádicos, dispersos en ambas UPL, indican expansión irregular, mientras que los puntos calientes oscilantes en Usme Entrenubes evidencian fluctuaciones temporales del fenómeno. Las áreas sin patrón definido corresponden a sectores estables o consolidados. En conjunto, el modelo confirma la validez del cubo espaciotemporal como herramienta para comprender la evolución multiescalar del crecimiento urbano, y ofrece una base sólida para orientar estrategias de planificación y control que prioricen la intervención en los focos más activos de crecimiento urbano.

La ocupación de áreas establecidas como zonas de amenaza por incendios forestales, afecta a 25,01 ha en Usme Entrenubes, mientras que para Rafael Uribe existe una incidencia de 8,95 ha. Estas

áreas se encuentran clasificadas como amenaza alta y el total del área afectada en la zona de estudio es de 33,96 ha (2,92% del crecimiento urbano 2025 para el área de estudio).

Por su parte, el análisis de amenaza por remoción en masa evidencia contrastes significativos entre las UPL Usme Entrenubes y Rafael Uribe. En Usme Entrenubes predomina la amenaza media, que abarca un 73,2% del área analizada, seguida de una proporción menor de amenaza baja (15,7%) y una presencia relevante de zonas de amenaza alta (11,1%), lo que revela una alta exposición a procesos de inestabilidad de terreno, especialmente en sectores con urbanización informal sobre suelos frágiles y pendientes pronunciadas (con una concentración mayoritaria de amenaza media-alta de 80,2%). En cambio, Rafael Uribe presenta una distribución más equilibrada, con predominio de niveles de amenaza media (49,8%) y baja (44,3%), y una menor incidencia de amenaza alta (5,8%), lo que se traduce en una vulnerabilidad comparativamente menor. En total, se identificaron 202 barrios legalizados con algún nivel de amenaza de remoción en masa, sumando 634 hectáreas afectadas, y varios casos críticos tanto en barrios legalizados como en proceso de legalización, como Villa Diana, Villa Rosita y Parcelación San Pedro en Usme, y Yopal, Sierra Morena, La Fiscalía y Danubio Azul en Rafael Uribe.

Consecuentemente, se identificó que 12,3 hectáreas de crecimiento urbano registrado al final del periodo de análisis en 2025 se ubican sobre suelos de protección. Adicionalmente, 5,8 hectáreas de esta expansión se localizan en zonas clasificadas como de amenaza alta no urbanizable. En conjunto, estas áreas representan el 1,55% del total del crecimiento urbano registrado en el periodo de análisis, se identificó que existen 41 barrios clasificados como legalizados o en proceso de legalización que presentan un crecimiento urbano sobre estas zonas de restricción, siendo los de mayor incidencia: Arrayanes V (1,14 ha), Barranquillita (0,63 ha) y Bolonia (0,24 ha).

El análisis de amenaza por avenidas torrenciales en las UPL de Usme Entrenubes y Rafael Uribe evidencia una marcada diferencia en la magnitud y distribución espacial. Mientras que en Usme Entrenubes las áreas en condición de amenaza alta abarcan mayores extensiones (3,7 ha con una incidencia de 0,6% del total de área urbanizada en esa UPL) y afectan tanto barrios formalizados (principalmente a barrios como Monte Blanco y Chapinerito) como en proceso de legalización (Usme Centro, Usme la Castellana y Campo Verde), reflejando una ocupación significativa de

zonas inestables asociadas a cauces y laderas, en Rafael Uribe la amenaza se presenta de manera más localizada (principalmente en barrios como San Felipe y Arizona) y fragmentada (2,2 ha con una incidencia de 0,4% del total de urbanización en la UPL).

La superposición del crecimiento urbano con los proyectos de equipamiento del POT “Bogotá Reverdece 2022–2035” evidenció conflictos espaciales relevantes. En Usme Entrenubes, el 83,2% del trazado proyectado para las Alamedas Entrequerbradas I y II ya se encuentra urbanizado, al igual que el 40% del corredor Usme Patrimonial, el 34,4% del Conector Tunjuelo al Gavilán y el 21,4% del Circuito Entre Domos. Estas ocupaciones reducen la funcionalidad ecológica, la recuperación de cuerpos de agua y la conectividad de áreas verdes contempladas en el POT. Mientras que, para Rafael Uribe, el 46% del proyecto Conector Vital y de Proximidad Hoya del Ramo presenta superposición con áreas urbanas, al igual que el 8,82% del proyecto Conector Vital y de Proximidad del Infierno a La Arboleda – Tramo II y el 5,3% de la Red de Miradores del Sur – Tramos I y II.

El presente estudio aporta un enfoque metodológico integral para el análisis del crecimiento urbano informal, combinando el análisis de imágenes satelitales, el seguimiento multitemporal, el análisis del cubo espaciotemporal y la evaluación normativa del POT en zonas de amenaza, categorías de protección y proyectos de equipamiento. Esta integración de variables permite identificar patrones de crecimiento urbano informal, puntos calientes y áreas consolidadas, ofreciendo una comprensión detallada de la dinámica territorial y de los factores que la condicionan. La metodología desarrollada resulta replicable en otros contextos urbanos con procesos informales similares, constituyendo una herramienta útil para la gestión territorial, la planificación urbana y la toma de decisiones orientadas a la construcción de territorios sostenibles. Su enfoque analítico, por tanto, se reconoce como una guía práctica y adaptable para la evaluación y el manejo sostenible del territorio en diferentes escalas y localidades.

El análisis realizado en este trabajo de grado permite a las entidades de gobierno distrital y local tomar decisiones informadas basadas en datos, frente al crecimiento urbano del área de estudio haciendo uso de herramientas de sistemas de información geográfica. Dichas decisiones se alinean con los procesos de actualización de políticas de planeación, que para nuestro estudio afectaría a

por lo menos 658.930 personas, de ahí la importancia de establecer un seguimiento territorial en búsqueda de una transición hacia la construcción de ciudades inteligentes. Adicionalmente, las condiciones en conjunto analizadas ponen de manifiesto la urgencia de fortalecer las estrategias de ordenamiento territorial con un enfoque diferencial que priorice la mitigación, el control del crecimiento urbano sobre suelos frágiles y la protección de la población asentada en zonas de informalidad.

En la zona nororiente de la UPL Rafael Uribe convergen áreas protegidas, zonas de amenaza por incendios forestales e incluso sectores de alta vulnerabilidad por remoción en masa, coincidiendo con áreas que entre 2023 y 2025 han sido foco de crecimiento urbano descontrolado. De manera similar, la zona suroriente de la UPL Usme Entrenubes también presenta un importante incremento de urbanización sobre áreas con amenaza por incendios forestales y remoción en masa, considerando que, según el estudio de crecimiento urbano realizado durante el periodo de análisis, esta UPL registró un aumento acumulado del 109,1 % en su área urbanizada. Estas condiciones destacan la necesidad de priorizar estas zonas para intervenciones de control y planificación, articuladas con la gestión del riesgo contemplada en el POT, a fin de mitigar las amenazas y orientar un crecimiento urbano sostenible. Finalmente, es importante señalar que la investigación incorpora supuestos de irreversibilidad del crecimiento urbano, lo que corresponde a una proyección regular de las áreas construidas; sin embargo, esta consideración debe tomarse como precaución al interpretar los resultados.

Implicaciones técnicas para la gestión distrital

A partir de los hallazgos del estudio, se identifican insumos técnicos relevantes para las entidades distritales encargadas de la planificación urbana y la gestión del riesgo.

- **Identificación prioritaria de áreas críticas:** Los sectores donde la expansión reciente coincide con zonas de amenaza o suelos de protección constituyen insumos técnicos para procesos de monitoreo y gestión del riesgo adelantados por entidades como IDIGER, especialmente en la planeación de intervenciones preventivas.
- **Apoyo a la planificación del suelo y equipamientos:** La localización de áreas urbanizadas que interfieren con proyectos del POT aporta información relevante para la Secretaría

Distrital de Planeación y la Secretaría de Hábitat, permitiendo ajustar diagnósticos, priorizaciones y estrategias de provisión de infraestructura y equipamientos.

- Fortalecimiento del control urbanístico: Los patrones espaciotemporales de urbanización informal y los puntos calientes identificados constituyen un insumo básico para las alcaldías locales, al orientar acciones de vigilancia y control en sectores donde la ocupación irregular ha sido más acelerada.
- Seguimiento territorial basado en datos: La metodología utilizada, al ser replicable y automatizable, permite construir sistemas de monitoreo continuo para apoyar la transición hacia modelos de planificación urbana basada en datos, en línea con los enfoques de analítica urbana y ciudades inteligentes.

Los resultados obtenidos refuerzan la necesidad de continuar promoviendo metodologías de observación territorial sistemática y analítica urbana dentro de las entidades distritales, con el fin de anticipar transformaciones, reducir vulnerabilidades y orientar un desarrollo urbano más sostenible y equitativo. De esta manera, el presente trabajo no solo contribuye al diagnóstico actual de la localidad de Usme, sino que abre la puerta a futuros estudios aplicados y a la consolidación de una gobernanza territorial más informada, preventiva y basada en evidencia.

REFERENCIAS

- [1] Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., “Localidad de Usme,” Bogotá D.C., 2022. Accessed: Feb. 15, 2025. [Online]. Available: https://www.integracionsocial.gov.co/images/_docs/entidad/5_Diagnostico_local_Usme_2021_VF.pdf
- [2] D. M. Luz, R. Casas, and L. Narváez, “Caracterización de la población migrante en Bogotá,” Bogotá D.C., 2022. Accessed: Feb. 15, 2025. [Online]. Available: https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/boletin_poblacion_migrante.pdf
- [3] D. A. Arcia, A. Pinto Carrillo, and L. Espinosa Restrepo, “Sistemas de Ordenamiento Territorial en América Latina y El Caribe,” Jun. 2023. Accessed: Feb. 15, 2025. [Online]. Available: <https://publications.iadb.org/es/sistemas-de-ordenamiento-territorial-en-america-latina-y-el-caribe-documento-resumen>
- [4] esri, “Explorar un cubo espacio-temporal.” Accessed: Oct. 30, 2025. [Online]. Available: <https://learn.arcgis.com/es/projects/explore-a-space-time-cube/>
- [5] C. Barco de Botero and R. Gakenheimer, “La expansión del uso de la tierra en Bogotá,” Lincoln Institute of Land Policy.
- [6] A. M. Gonzalez Sanchez and J. L. Montoya Briñez, “ANÁLISIS BRECHA DE LA EXPANSION URBANA EN LA LOCALIDAD DE USME, ESTRATEGIA REALIZADA POR LA CORPORACIÓN AMBIENTAL MACONDO.,” Bogotá D.C., 2015.
- [7] J. Liu *et al.*, “Understanding urban expansion and shrinkage via green plastic cover mapping based on GEE cloud platform: A case study of Shandong, China,” *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 128, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.jag.2024.103749.

- [8] Y. Zheng, Y. Cai, K. Yang, M. Fan, M. Fu, and C. Wei, “Quantitative spatiotemporal evolution of large urban agglomeration expansion based on 1995–2020 nighttime light and spectral data,” *Ecol Inform*, vol. 84, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.ecoinf.2024.102824.
- [9] Concejo de Bogotá, “Concejo de Bogotá,” <https://concejodebogota.gov.co/por-la-reconstruccion-del-tejido-social-ninos-ninas-y-adolescentes/concejo/2018-05-08/081609.php>.
- [10] DANE, “Geovisor DANE: Déficit poblacional.” Accessed: Aug. 16, 2025. [Online]. Available: <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/deficit-habitacional/>
- [11] M. A. Pérez Quiroga, “Vivienda informal y control urbano, una difícil realidad: caso polígono 194, colindancia la Esmeralda en la Localidad de Usme,” 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/82086>
- [12] A. P. Camargo Sierra and A. Hurtado Tarazona, “Urbanización informal en Bogotá: agentes y lógicas de producción del espacio urbano,” *Revista INVI*, vol. 28, no. 78, pp. 77–108, 2013, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/pdf/258/25828908003.pdf>
- [13] O. L. CEBALLOS RAMOS, *La infancia y el hábitat urbano informal. Reflexiones sobre Bogotá, Colombia*, 1st ed., vol. 28. Bogotá: Bitácora Urbano Territorial, 2018.
- [14] L. Y. Camacho Ramírez, *Apropiación y transformación del territorio en las dinámicas de conformación de asentamientos informales: Barrios Compostela y asentamiento informal Altos de Compostela en Usme (Bogotá)*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia. Facultad de Ciencias Sociales y Humanas, 2022.
- [15] R. H. Trujillo Corredor, “Dinámica de la Construcción por Usos: Localidad de Usme,” 2013.

- [16] Alcaldía Mayor de Bogotá. Secretaría de Planeación, “Conociendo la localidad de Usme: Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos,” pp. 1–46, 2009.
- [17] D. M. Luz, R. Casas, and L. Narváz, “Caracterización de la población migrante en Bogotá,” Bogotá D.C., 2022. Accessed: Feb. 15, 2025. [Online]. Available: https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/boletin_poblacion_migrante.pdf
- [18] Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., “Localidad de Usme,” Bogotá D.C., 2022. Accessed: Feb. 15, 2025. [Online]. Available: https://www.integracionsocial.gov.co/images/_docs/entidad/5_Diagnostico_local_Usme_2021_VF.pdf
- [19] M. P. Vallejo Arteaga, V. Acosta Ramos, A. M. Molina Mosquera, and D. Céspedes Peña, “Asentamientos Humanos Ilegales en Bogotá,” Bogotá D.C., 2020. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: https://centrogobiernolocal.gobiernobogota.gov.co/sites/default/files/2023-10/Asentamientos%20Humanos%20Ilegales%20en%20Bogota%CC%81%202022_0.pdf
- [20] V. S. M. C. J. T. U. Barbosa, “Urban structure to determine equitable city growth for spatial justice: A case study of Chía-Bogotá, Colombia,” *Journal of Urban Mobility*, pp. 3–14, 2024.
- [21] C. H. D. Falavigna, “Assessing inequalities on public transport affordability in two latin American cities: Montevideo (Uruguay) and Córdoba (Argentina),” *World Conference on Transport Research Society (WCTRS)*, pp. 145–155, 2016.
- [22] Grupo Banco Mundial, “Desarrollo Urbano,” <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%20alrededor%20del,10%20personas%20vivir%C3%A1n%20en%20ciudades>.

- [23] V. Ardila, “Proceso de expansión: Crecimiento Urbano de Bogotá,” 2010. Accessed: Mar. 15, 2025. [Online]. Available: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/41569/ArdilaVeronica2010IU.pdf>
- [24] M. A. López Plazas, “La mancha urbana en Colombia sigue expandiéndose,” Universidad del Rosario. Accessed: Mar. 17, 2025. [Online]. Available: <https://urosario.edu.co/periodico-nova-et-vetera/investigacion/la-mancha-urbana-en-colombia-sigue-expandiendose#:~:text=Un%20estudio%20adelantado%20por%20un,e n%20los%20%C3%BAltimos%2030%20a%C3%B1os>.
- [25] Fedesarrollo, *Diagnóstico y recomendaciones sobre el ordenamiento territorial en Colombia: Propuestas para el cumplimiento de los Acuerdos de Paris*. Bogotá D.C.: Fedesarrollo. UK PACT. NYU, 2022.
- [26] J. Beall *et al.*, *Urban Governance, Voice and Poverty in the Developing World*. 2004. doi: 10.4324/9781849773683.
- [27] J. Pierre, *The Politics of Urban Governance*. 2011. doi: 10.1007/978-1-137-28555-3.
- [28] P. Huntjens, “Governance of Urban Sustainability Transitions,” in *Towards a Natural Social Contract: Transformative Social-Ecological Innovation for a Sustainable, Healthy and Just Society*, P. Huntjens, Ed., Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 159–169. doi: 10.1007/978-3-030-67130-3_7.
- [29] H. Bulkeley *et al.*, “Urban living labs: governing urban sustainability transitions,” Oct. 01, 2016, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.cosust.2017.02.003.
- [30] H. Bulkeley and M. Betsill, “Rethinking Sustainable Cities: Multilevel Governance and the ‘Urban’ Politics of Climate Change,” *Environmental Politics - ENVIRON POLIT*, vol. 14, pp. 42–63, Feb. 2005, doi: 10.1080/0964401042000310178.

- [31] T. Nam and T. Pardo, "The changing face of a city government: A case study of Philly311," *Gov Inf Q*, vol. 31, Jun. 2014, doi: 10.1016/j.giq.2014.01.002.
- [32] J. R. . Gil García, *Enacting electronic government success : an integrative study of government-wide websites, organizational capabilities, and institutions*. Springer, 2012.
- [33] M. Batty *et al.*, "Smart cities of the future," *Eur Phys J Spec Top*, vol. 214, pp. 481–518, Nov. 2012, doi: 10.1140/epjst/e2012-01703-3.
- [34] H. Scholl and S. Alawadhi, "Smart governance as key to multi-jurisdictional smart city initiatives: The case of the eCityGov Alliance," *Social Science Information*, vol. 55, Feb. 2016, doi: 10.1177/0539018416629230.
- [35] K. Kourtit, P. Nijkamp, and D. Arribas, "Smart cities in perspective – a comparative European study by means of self-organizing maps," *Innovation-the European Journal of Social Science Research - INNOVATION*, vol. 25, pp. 229–246, Jun. 2012, doi: 10.1080/13511610.2012.660330.
- [36] A. Meijer and M. P. Rodríguez Bolívar, "Governing the smart city: a review of the literature on smart urban governance," *International Review of Administrative Sciences*, vol. 82, pp. 392–408, Apr. 2016, doi: 10.1177/0020852314564308.
- [37] H. Verrest and K. Pfeffer, "Elaborating the urbanism in smart urbanism: distilling relevant dimensions for a comprehensive analysis of Smart City approaches," *Inf Commun Soc*, vol. 22, pp. 1–15, Jan. 2018, doi: 10.1080/1369118X.2018.1424921.
- [38] R. Goodspeed, "Smart cities: Moving beyond urban cybernetics to tackle wicked problems," *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, vol. 8, Feb. 2014, doi: 10.1093/cjres/rsu013.
- [39] M. Batty, "Urban analytics defined," *Environ Plan B Urban Anal City Sci*, vol. 46, pp. 403–405, Mar. 2019, doi: 10.1177/2399808319839494.

- [40] W. Kang *et al.*, “A roundtable discussion: Defining urban data science,” *Environ Plan B Urban Anal City Sci*, vol. 46, pp. 1756–1768, Nov. 2019, doi: 10.1177/2399808319882826.
- [41] C. Kontokosta, “Urban Informatics in the Science and Practice of Planning,” *J Plan Educ Res*, vol. 41, p. 0739456X1879371, Aug. 2018, doi: 10.1177/0739456X18793716.
- [42] W. Liu, P. Cui, J. Nurminen, and J. Wang, “Special issue on intelligent urban computing with big data,” *Mach Vis Appl*, vol. 28, Sep. 2017, doi: 10.1007/s00138-017-0877-8.
- [43] Y. Zheng, L. Capra, O. Wolfson, and H. Yang, “Urban Computing,” *ACM Trans Intell Syst Technol*, vol. 5, pp. 1–55, Sep. 2014, doi: 10.1145/2629592.
- [44] C. Lynch and V. Del Casino, “Smart Spaces, Information Processing, and the Question of Intelligence,” *Ann Am Assoc Geogr*, vol. 110, pp. 1–9, Jul. 2019, doi: 10.1080/24694452.2019.1617103.
- [45] S. Bibri, “The IoT for Smart Sustainable Cities of the Future: An Analytical Framework for Sensor-Based Big Data Applications for Environmental Sustainability,” *Sustain Cities Soc*, vol. 38, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.scs.2017.12.034.
- [46] S. Bibri and J. Krogstie, “Bibri, Simon Elias; Krogstie, John. (2017) The Core Enabling Technologies of Big Data Analytics and Context-Aware Computing for Smart Sustainable Cities: A Review and Synthesis.,” *Big Data*, vol. 4, Nov. 2017, doi: 10.1186/s40537-017-0091-6.
- [47] M. Shoorcheh, *Urban Planning Theory since 1945*. 1998.
- [48] S. Ji, Y. Zheng, and T. Li, *Urban sensing based on human mobility*. 2016. doi: 10.1145/2971648.2971735.
- [49] J. Zhang, Y. Zheng, and D. Qi, *Deep Spatio-Temporal Residual Networks for Citywide Crowd Flows Prediction*. 2016. doi: 10.48550/arXiv.1610.00081.

- [50] Y. Zheng *et al.*, *Forecasting Fine-Grained Air Quality Based on Big Data*. 2015. doi: 10.1145/2783258.2788573.
- [51] S. E. Bibri, “Data-driven smart sustainable cities of the future: urban computing and intelligence for strategic, short-term, and joined-up planning,” *Computational Urban Science*, vol. 1, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.1007/s43762-021-00008-9.
- [52] L. Garavito González and G. Cortés Millán, “Defensas colectivas del territorio en América Latina: Persistencias y mutaciones,” *Universidad Externado de Colombia*, vol. 41, pp. 1–606, May 2023.
- [53] G. Wang, W. Peng, L. Zhang, J. Xiang, J. Shi, and L. Wang, “Quantifying urban expansion and its driving forces in Chengdu, western China,” *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, vol. 26, no. 4, pp. 1057–1070, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.ejrs.2023.11.010.
- [54] L. Cano Salinas, R. Rodríguez Laguna, J. R. Valdez Lazalde, O. A. Acevedo Sandoval, and R. I. Beltrán Hernández, “Detección del crecimiento urbano en el estado de Hidalgo mediante imágenes Landsat,” *Investigaciones Geográficas. Instituto de Geografía. UNAM*, vol. 92, Mar. 2016, Accessed: Mar. 17, 2025. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0188461117300298?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=9218f2eeec37eacc
- [55] COPERNICUS, “El programa Copernicus aplicado a la producción y gestión de la información geoespacial,” 2018. Accessed: Mar. 15, 2025. [Online]. Available: https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa_Marco_Copernicus_User_Uptake/3_componente_espacio_Copernicus.pdf
- [56] Ministerio de Transporte Movilidad y Agenda Urbana, “El componente espacio Copernicus: El programa Copernicus aplicado a la producción y gestión de la información geoespacial,” 2018.

- [57] Esri, *Ciencia de datos espaciales usando ArcGIS*. Bogotá D.C.: Esri Colombia SAS, 2025.
- [58] Esri, “Análisis de puntos calientes (Gi* de Getis-Ord) (Estadística espacial),” <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/hot-spot-analysis.htm>.
- [59] Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., “Plan de Ordenamiento Territorial. Bogotá Reverdece 2022-2035,” vol. 1, Sep. 2021.
- [60] L. Adriana Romero Murillo, “CIUDAD INTERMEDIA. ESTUDIO DE CASO: LA RELIQUIA EN UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO FACULTAD DE CIENCIA POLÍTICA Y GOBIERNO,” 2016.
- [61] D. J. Leyton Castro and O. E. Fernandez, “Análisis multitemporal mediante imágenes Landsat de la expansión urbanística,” 2023.
- [62] R. A. Arango Carvajal, J. C. Chilito Piamba, and A. Cifuentes Sanabria, “ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA EXPANSION URBANA DE LA CIUDAD DE POPAYÁN, CAUCA ENTRE LOS AÑOS 1989, 2002 Y 2014,” 2016. Accessed: Mar. 25, 2025. [Online]. Available: https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/2606/Arango_Roman_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [63] Alcaldía Mayor de Bogotá, “Formulación de Unidades de Planeamiento Local - Sector Suroriente. Documento técnico de Soporte: Arborizadora - Lucero - Rafael Uribe - San Cristobal - Tunjuelito - Usme Entrenubes,” 2023.
- [64] Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., “Secretaría de Planeación de Bogotá / Usme - Entrenubes,” Base de datos geográfica UPL. Accessed: Mar. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/sor-06.pdf>
- [65] Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., “Secretaría de Planeación de Bogotá / Rafael Uribe,” Base de datos geográfica UPL. Accessed: Mar. 15, 2025.

- [Online]. Available:
https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/sor_03_rafaeluribe.pdf
- [66] Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., “Planeamiento Local Rural Sostenible.” Accessed: Mar. 15, 2025. [Online]. Available:
<https://www.sdp.gov.co/gestion-territorial/planeamiento-rural-sostenible/upl#:~:text=La%20UPL%20Cuenca%20del%20Tunjuelo,en%20flora%2C%20fauna%20y%20agua.>
- [67] Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., *Atlas Usme Ambiental*, Alcaldía Local Usme., vol. 1. Bogotá D.C., 2017. Accessed: Oct. 25, 2025. [Online]. Available:
http://www.usme.gov.co/sites/usme.gov.co/files/documentos/atlas_usme_ambiental_2017._vf.pdf
- [68] Instituto Distrital de Patrimonio Cultural, “Documento Técnico de Soporte Caracterización de la Estructura de los Patrimonios Integrados en el marco de las 33 UPL.” Accessed: Mar. 15, 2025. [Online]. Available:
https://idpc.gov.co/wp-content/uploads/opi/2023/Publicacion_Caracterizacion_de_UPL.pdf
- [69] Secretaría de Planeación, “Usme - Entrenubes.” Accessed: Mar. 15, 2025. [Online]. Available:
https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/generales/usme_entrenubes.pdf
- [70] Secretaría de Planeación, “Rafael Uribe,” UPL Rafael Uribe. Accessed: Mar. 15, 2025. [Online]. Available:
https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/generales/rafael_uribe.pdf
- [71] The European Space Agency, “The European Space Agency ,” Sentinel-2. Accessed: Mar. 15, 2025. [Online]. Available:
https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/SENTINEL_2
- [72] A. S. Neira Acosta, “ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA EXPANSIÓN URBANA DE LA LOCALIDAD DE USME-BOGOTÁ,” Bogotá D.C., 2016. Accessed: Mar. 17, 2025. [Online].

Available:

<https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/26a063fc-c0f1-4daa-a882-9e6c6dba2d65/content>

- [73] A. A. K. M. K. F. F. M. M. H. Saman Nadizadeh Shorabeh, “Impact assessment modeling of climatic conditions on spatial-temporal changes in surface biophysical properties driven by urban physical expansion using satellite images,” *Sustainable Cities and Society* , vol. 80, May 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103757>.
- [74] Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., “Datos abiertos Bogotá.” Accessed: Mar. 15, 2025. [Online]. Available: <https://datosabiertos.bogota.gov.co/>
- [75] esri, “Preparar clasificador de máquina de vectores de soporte (Image Analyst).” Accessed: Mar. 15, 2025. [Online]. Available: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/image-analyst/train-support-vector-machine-classifier.htm>
- [76] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, “DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA - DANE ,” UPL Rafael Uribe y UPL Usme Entrenubes. Accessed: Mar. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/cuantos-somos>
- [77] Secretaría Jurídica Distrital, “Decreto 252 de 2007 Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.,” *ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, D.C.*, Jun. 2007, Accessed: Mar. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=25478#>
- [78] Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, “Departamento Administrativo Nacional de Estadística .”

- [79] Alcaldía Mayor de Bogotá, “Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático .” Accessed: Jul. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.idiger.gov.co/rincendiof>
- [80] J. A. Osorio Osorio, “Somos Tunjuelo: agua, gente y patrimonio,” *Boletín OPCA*, vol. 8, no. <https://cienciassociales.uniandes.edu.co/opca/articulo/somos-tunjuelo-agua-gente-y-patrimonio/>, pp. 16–27, 2014.
- [81] A. F. Guzmán Sánchez, P. A. Hernández Gaitán, M. F. Osuna Orozco, and J. D. Pascagaza Vergara, “Calculo de la oferta hídrica superficial por el método relación balance hídrico, caso de estudio cuenca Río Tunjuelo para los años 1981 - 2010,” *Universidad de Cundinamarca*, 2023.