Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Programa de Ingeniería Civil

Análisis de rutas de transporte público y de su cobertura en la Localidad de Puente Aranda

Diego Rivera Guapo

Bogotá, D.C, 10 de diciembre de 2020

Análisis de rutas de transporte público y de su cobertura en la Localidad de Puente Aranda

Para optar al énfasis de ingeniería civil en tránsito y transporte

Mónica Marcela Suarez Pradilla, MSc. PhD

Directora

Bogotá, D.C, 10 de diciembre de 2020

A**gradecimientos**

Para empezar, quiero darles las gracias a mis padres, Hugo Rivera y Martha Guapo, por mi vida, la educación y valores que me han dado, con mucho esfuerzo y cariño, a lo largo de estos últimos 22 años.

Continuando, quiero agradecerle a mi directora de trabajo dirigido: la Ingeniería Mónica Marcela Suárez Pradilla; por guiarme en el desarrollo de este documento; darme las pautas para su elaboración, y contribuir a la obtención del Énfasis de Ingeniería Civil, en Tránsito y Transporte.

Por último, le agradezco a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito mi alma mater, a la Universidad Nacional de Córdoba donde curse un semestre de intercambio académico, a mis docentes por contribuir en mi formación académica y profesional; y a cada uno de mis familiares, amigos y compañeros, por su colaboración y apoyo a lo largo de este camino recorrido, en los últimos cinco años.

Resumen

El modo de transporte más utilizado más utilizado por los habitantes de las ciudades es el transporte público, se caracteriza porque cubre grandes distancias de viaje, en un intervalo de tiempo acorde con las actividades de las personas, y a un precio asequible para todos sus habitantes. Dada la importancia social y económica que representa este servicio para una ciudad, es de vital importancia garantizar el acceso de la mayor parte de la población a lo largo del perímetro urbano. Para evaluar el servicio del transporte público es necesario estudiar su cobertura territorial a fin de identificar problemas de accesibilidad, conectividad de la red y con ello contribuir a mejorar la calidad de vida de la población, en especial la de aquellos sectores más vulnerables. El presente trabajo tiene como objetivo analizar *la cobertura y la operación de rutas del transporte público* de la localidad de Puente Aranda, Bogotá D.C; haciendo uso de software SIG (Sistemas de Información Geográfica), y plantear alternativas que contribuyan a mejorar el servicio de transporte público en la Localidad. Luego de la obtención de resultados, se concluye que el transporte público de la localidad de Puente Aranda se destaca por sus eficientes diseños de trayectorias de rutas, altos niveles de cobertura y unos buenos registros de la densidad del servicio en gran parte de su territorio, aunque se deben mejorar algunos sectores catastrales donde los dos últimos indicadores de cobertura y densidad del servicio no son representativos.

Palabras Clave: *transporte público; cobertura; operación de rutas; estaciones de bus; distancias de viaje*

Abstract

The most used mode of transport by city dwellers is public transport, which is characterized by the fact that it covers long distances of travel, in a time interval in accordance with people's activities, and at an affordable price for all its inhabitants. Given the social and economic importance that this service represents for a city, it is of vital importance to guarantee access for most of the population along the urban perimeter. To evaluate the public transport service, it is necessary to study its territorial coverage in order to identify problems of accessibility, network connectivity and thus contribute to improving the quality of life of the population, especially the most vulnerable sectors. The objective of this study is to analyze the coverage and operation of public transportation routes in the town of Puente Aranda, Bogotá D.C., using GIS (Geographic Information Systems) software, and to propose alternatives that will help improve public transportation services in the town. After obtaining the results, it was concluded that public transportation in the town of Puente Aranda stands out for its efficient route design, high levels of coverage, and good records of service density in a large part of its territory, although some cadastral sectors need to be improved where the last two indicators of coverage and service density are not representative.

Keywords: *public transport; coverage; routes operation; bus stations; travel distances*

Índice general

Introducción 11

Objetivos 12

1. Objetivo Principal 12
2. Objetivos específicos 12

Estado del Arte 13

Caso de Estudio 15

3. Geografía 16
4. Aspectos Territoriales 16
5. Unidades de Planeamiento Zonal de la Localidad 17

Características por UPZ- Puente Aranda 17

6. Sectores Catastrales de la Localidad 20
7. Usos del Suelo 23
8. Estratificación 25

Metodología 26

Resultados 29

1. Cobertura del Transporte Público 29
2. Densidad del Servicio 32

3. Análisis de Rutas 35

Conclusiones 39

Referencias 42

Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación y extensión por UPZ Fuente Secretaria Distrital de Planeación (2017) 17

Tabla 2 Población por UPZ (2014-2017) Fuente Secretaria Distrital de Planeación (2017) 19

Tabla 3 Población y su distribución por UPZ Fuente Secretaria Distrital de Planeación (2017) 19

Tabla 4 Sectores Catastrales por UPZ Fuente Secretaría Distrital de Planeación (2017) 21

Tabla 5 Distribución Usos del Suelo Fuente Secretaria Distrital de Planeación (2017) 23

Tabla 6 Variables relacionadas en el cálculo de la Cobertura del Transporte Público Fuente (Hernández, 2017) y (Peréz.L. E, 2018) 27

Tabla 7 Bases de datos y Geodatabases usadas para el cálculo de la cobertura y el análisis de rutas del transporte público en la localidad 29

Tabla 8 Cobertura Transporte Público Puente Aranda según las áreas de Influencia Paraderos Sitp Fuente Propia a partir del análisis de software 31

Tabla 9 Datos del Análisis Fuente Propia sobre la base de datos de Transmilenio y Secretaria Distrital de Movilidad 38

Índice de figuras

Figura 1 Distribución territorial UPZ Puente Aranda..... 17

Figura 2 Distribución Población por UPZ Puente Aranda año 2017..... 19

Figura 3 Densidad Poblacional por UPZ Puente Aranda 20

Figura 4 Procedimiento para el cálculo de la Cobertura del Transporte Público con el uso de herramientas SIG..... 27

Figura 5 Proceso de Análisis de Rutas de Transporte de Pasajeros, mediante la herramienta Network Analyst de ArcGIS..... 28

Figura 6 Ruta SITP seleccionada 56A: Isla del Sol - Porciúncula 36

Figura 7 Ruta optima obtenida por el análisis de ruta 37

Figura 8 Ruta optima vs Ruta actual 38

Índice de Mapas

Mapa 1 Unidades de Planeación Zonal Puente Aranda 18

Mapa 2 Sectores Catastrales Puente Aranda 22

Mapa 3 Usos de Suelos Puente Aranda 24

Mapa 4 Cobertura del Transporte Público Puente Aranda 30

Mapa 5 Densidad del Servicio Puente Aranda 33

Introducción

Con el paso del tiempo las ciudades del mundo han experimentado procesos de transformación y de crecimiento territorial, ligados a diferentes factores: sociales, políticos y económicos y relacionados con la necesidad de las personas de adquirir, intercambiar o vender, bienes y servicios que puedan satisfacer sus intereses particulares.

Para responder a estos retos las ciudades han implementado diferentes sistemas de transporte, (Bicicletas, Automóviles, Buses, Ferrocarriles, entre otros), que requieren una infraestructura particular que ha contribuido a vertebrar el área urbana y constituye el principal canal funcional que relaciona las ciudades.

El sistema de transporte público, en la mayoría de las ciudades es responsable de un alto porcentaje de desplazamientos y se diseña para que cubra distancias considerables (kilómetros), con altas frecuencias, y a un precio asequible para todos sus habitantes, con el objetivo de que sus rutas logren cubrir la mayor área de su territorio.

Tal es el caso de la ciudad de Bogotá, en donde según la Encuesta de Movilidad 2019, realizada por la Secretaría Distrital de Movilidad , el 43% de los viajes diarios se realizaban por medio del transporte público. Asimismo, se estima que esta modalidad realizo 4´923.596 viajes diarios, para un total de 7´200.000 habitantes según el último censo nacional DANE (2018). Los anteriores datos evidencian la importancia del sistema de transporte público para los bogotanos particularmente.

El estudio del transporte público de pasajeros es muy importante en las grandes ciudades; considerando que la población realiza diferentes desplazamientos, es necesario analizar su comportamiento para tomar decisiones en función de la optimización de rutas y la mejora de los servicios que lo constituyen. Actualmente, los viajeros, tienen un amplio abanico de alternativas (modos de transporte) para hacer sus viajes dentro de la ciudad. La decisión de qué modo elegir considera diferentes opciones, como: costo, distancia, tiempos de viaje, confort, etc. Por ello, los gestores urbanos deben incluir en las diferentes figuras de planificación y ordenamiento estrategias que garanticen un uso adecuado del transporte público y que favorezcan los aspectos de sostenibilidad.

Dada la importancia económica que representa para una ciudad su sistema de transporte público, es de vital importancia realizar estudios periódicos del nivel operacional que el sistema le ofrece a cada uno de sus ciudadanos, para determinar las deficiencias del sistema, y ejecutar planes de acción que contribuyan a la mejora y puesta a punto del servicio, en un periodo de tiempo determinado, evaluando aspectos importantes como: infraestructura, estructura física de la red y de las rutas, seguridad, accesibilidad, tiempo de viaje y frecuencias, confort, y la cobertura del área de transporte (García Schilardi, 2017)

Este último parámetro; la Cobertura, cuantifica la extensión territorial que abarca el servicio de transporte público en la ciudad, contribuye a identificar las necesidades de los ciudadanos y evaluar el nivel de eficacia del sistema implementado. El siguiente trabajo tiene como fin analizar la cobertura y el funcionamiento de las rutas de transporte público de una de las veinte localidades de la ciudad de Bogotá: Puente Aranda, haciendo uso de software SIG (Sistemas de Información Geográfica), y plantear alternativas que contribuyan a mejorar el servicio de transporte público en la Localidad.

Objetivos

1. Objetivo Principal

Analizar las rutas de transporte público y su cobertura en la Localidad de Puente Aranda.

2. Objetivos específicos

1. Ampliar el estado del arte sobre la importancia de la cobertura del transporte público
2. Evaluar la distribución de las paradas para conocer el nivel de utilización particular en función de la accesibilidad
3. Realizar un análisis espacial del sistema de rutas de transporte público de la localidad utilizando herramientas SIG

Estado del Arte

La cobertura del transporte público mide el alcance territorial de las rutas y paraderos de una determinada área urbana, de tal manera que el recorrido a pie, de cada uno de los habitantes hasta las estaciones de bus sea el menor posible, optimizando sus tiempos totales de viaje. Otros autores, han definido la cobertura de la siguiente manera: “Por cobertura se entiende al área servida por el sistema de transporte público siendo su unidad de medida el tiempo o la distancia recorrida a pie y que resulta aceptable caminar” (Pozueta, 2000, p. 224); “Se refiere a la extensión de una red dentro del área en la que se presta el servicio. Este valor puede asociarse también al porcentaje de población que sirve” (García Schilardi, 2017, p. 41). Para evaluar el nivel de cobertura del transporte público en una región, varios autores han presentado distintos modelos, entre ellos:

Hernández (2017), para estudiar la cobertura del transporte público en la ciudad de Montevideo, Uruguay; ejecutó geoprocesamientos de información espacial proveniente de la Intendencia de Montevideo y el Instituto Nacional de Estadística. Concretamente, trabajó con las estaciones de autobús (paradas) en relación con los centroides de cada una de las manzanas. De esta forma, a partir de áreas de influencia, calculadas con la distancia euclidiana entre cada punto, se determinó la presencia o no de una parada respecto de ese centroide. Para el cálculo de la población cubierta se utilizó la metodología usada por Gutiérrez y García (2005), que consiste en calcular la proporción de la zona que está cubierta por el área de influencia y aplicarla sobre la cantidad de personas que viven en ella, asumiendo que estas se encuentran cubiertas por dicha área de influencia. Luego de analizar los resultados Hernández concluyo que Montevideo es una red de alta densidad, que cubre las áreas de mayor demanda en la ciudad, y que posee de una alta conectividad del transporte público.

García Schilardi (2017), para determinar la cobertura en el Área Metropolitana de Mendoza, Argentina; considera como cuenca primaria de la red a la distancia no mayor a 500 metros de cada estación, que puede ser recorrido por cada persona a pie en un tiempo menor o igual a cinco minutos. En este trabajo, se determinó el porcentaje de área urbana que representa la cuenca primaria de la red respecto de toda el área urbana. Para evaluar este indicador se consideró que, por razones de

equidad, el servicio de transporte público debe servir a la totalidad del área urbana, es decir, la extensión óptima de la red, representada por su cuenca primaria, la cual debería abarcar el 100 % de la superficie urbana. El indicador debía tener un valor cercano a uno para ser óptimo. Asimismo, se estableció que si la cobertura es superior al 80 % es suficiente y si es inferior a este porcentaje es insuficiente Definidos estos criterios, se encontró que, en el área metropolitana de Mendoza, la cobertura es en general suficiente, ya que dio como resultado un porcentaje del 88 %.

Peréz.L.E (2018), evalúa la cobertura de servicio de las paradas de transporte urbano de una porción de una ciudad usando un software SIG. Se estudia un caso hipotético con un conjunto reducido de variables. Se analiza la distribución de las paradas, su sub o sobreutilización considerando los puntos de acceso a las edificaciones. Las variables del estudio son: Número de viajes en la ciudad según origen y destino, y hora del día; Motivos de los viajes; Características Socioeconómicas y Número de viajes según modos de transporte.

Cardona et al (2017), relaciona la cobertura por estratos socioeconómicos, con la configuración de las curvas isócronas de los tiempos de viaje obtenidas de los cálculos de accesibilidad media global sumados s los datos sociodemográficos de la ciudad. Se establece si existen estratos que refieren desventaja en la prestación del servicio de bicicletas públicas, al compararle con otros. Los datos de accesibilidad media global se obtuvieron a partir del vector de tiempo medio de viaje de bicicleta sumado al peatonal, obtenido luego de aplicar la metodología de caminos mínimos entre nodos

Anzola Parra (2017), por su parte hizo uso del software Arcgis, uniendo espacialmente las manzanas de Bogotá y las troncales de Transmilenio construidas hasta el año 2017, con el objetivo de obtener la cobertura actual del sistema, dando como resultado, la distancia entre cada manzana de Bogotá a la troncal más próxima de Transmilenio, Por último, se diseñó un mapa de cercanía a partir de la simbología de las distancias. Como resultado de este trabajo Anzola Parra, llego a la conclusión de que el proyecto en la totalidad de sus troncales proyectadas, tiene un potencial de usuarios tres veces mayor al actual en una distancia de 500 metros o menos. Lo que generaría un mayor desarrollo económico y social para la ciudad

El estudio de la cobertura en un sector determinado contribuye a identificar problemas de accesibilidad y conectividad de una red. Acorde con la opinión de García Schilardi (2017, p. 41):"Habitualmente, la cobertura en los centros de actividad es alta y va decreciendo conforme se avanza sobre las zonas menos densas o de menor atracción"; es necesario plantear estrategias, desde el área de la Ingeniería de Transporte, que permitan garantizar la equidad de cobertura, y una mejor calidad de vida a la población más desfavorecida; como es el caso de las periferias de las ciudades, las cuales se encuentran más alejadas de los centros de actividad económicas, exactamente en los límites del área urbana, que disponen generalmente de malas condiciones de infraestructura vial, terreno irregular, entre otros.

Todo esto en procura de aumentar el número de viajes del transporte público, disminuyendo el uso de los vehículos particulares, aumentando la densidad poblacional y evitando la expansión territorial desproporcionada del área urbana, la cual conlleva a problemáticas de movilidad a largo plazo en una ciudad (Monzón de Cáceres & Hoz Sánchez, 2009)

Caso de Estudio

Puente Aranda es una de las 20 localidades de la ciudad de Bogotá, correspondiente a la nomenclatura #16, se ubica en el centro geográfico de la ciudad, y cuenta con una superficie de 1731 hectáreas distribuidas en 1799 manzanas y 44 sectores catastrales

Esta localidad está conformada por 5 Unidades de Planeación Zonal UPZ, subdivisión de las localidades según el Plan de Ordenamiento Territorial, definido por la Ley 388 de 1997 de carácter nacional, entre ellas Ciudad Montes, Muzu, San Rafael, Zona Industrial y Puente Aranda, las 3 primeras de carácter Residencial Consolidado, y las 2 últimas Predominantemente Industrial (Secretaría Distrital de Planeación, 2017)

3. Geografía

La localidad Puente Aranda limita con las siguientes avenidas a lo largo de su perímetro:

- Al *norte* con la localidad Teusaquillo, con la Avenida de las Américas o Avenida Calle 23 y la Avenida Ferrocarril de Occidente o Avenida Calle 22.
- Al *oriente* con la localidad Los Mártires, con la Avenida Ciudad de Quito o Avenida Carrera 30.
- Al *sur* con las localidades Tunjuelito y Antonio Nariño, con la Avenida del Sur o Transversal 35 o Avenida Calle 45A Sur
- Al *occidente* con la localidad de Kennedy, con la Avenida del Congreso Eucarístico o Avenida Carrera 68

La topografía de la localidad Puente Aranda es plana, al interior de esta no se encuentran estribaciones montañosas. (Secretaria Distrital de Planeación, 2017)

4. Aspectos Territoriales

Según la secretaria distrital de Planeación (2017), la localidad de Puente Aranda posee las siguientes características territoriales:

- Tiene una extensión de 1.731,1 hectáreas, de las cuales la totalidad es suelo urbano. No posee suelo rural ni de expansión
- Cuenta con 1.799 manzanas distribuidas en 44 sectores catastrales
- Participa de un 4,6% de la superficie urbana de la ciudad.

5. Unidades de Planeamiento Zonal de la Localidad

La localidad de Puente Aranda está conformada por 5 UPZ, entre ellas: Ciudad Montes, Muzu, San Rafael, Zona Industrial y Puente Aranda. La distribución geográfica y límites de cada una de estas UPZ y la localidad, se pueden apreciar en el Mapa 1

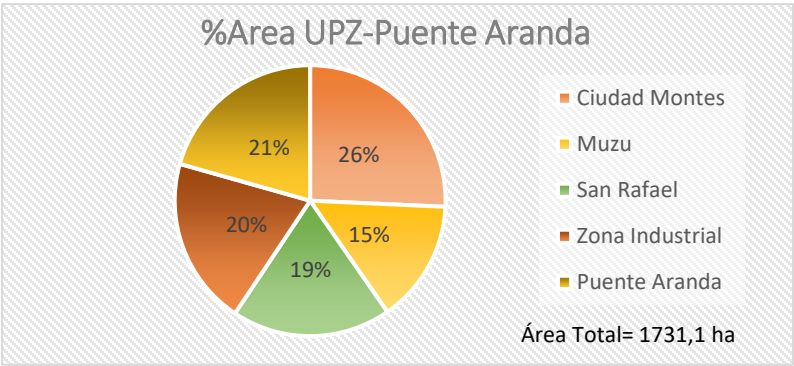
Características por UPZ- Puente Aranda

1. Clasificación y extensión por UPZ

Número	UPZ	Clasificación	Área (ha)	%
40	Ciudad Montes	Residencial Consolidado	445.6	25.7
41	Muzu	Residencial Consolidado	252.8	14.6
43	San Rafael	Residencial Consolidado	329.3	19
108	Zona Industrial	Predominantemente Industrial	347	20
111	Puente Aranda	Predominantemente Industrial	356.4	20.6
Total			1731.1	100

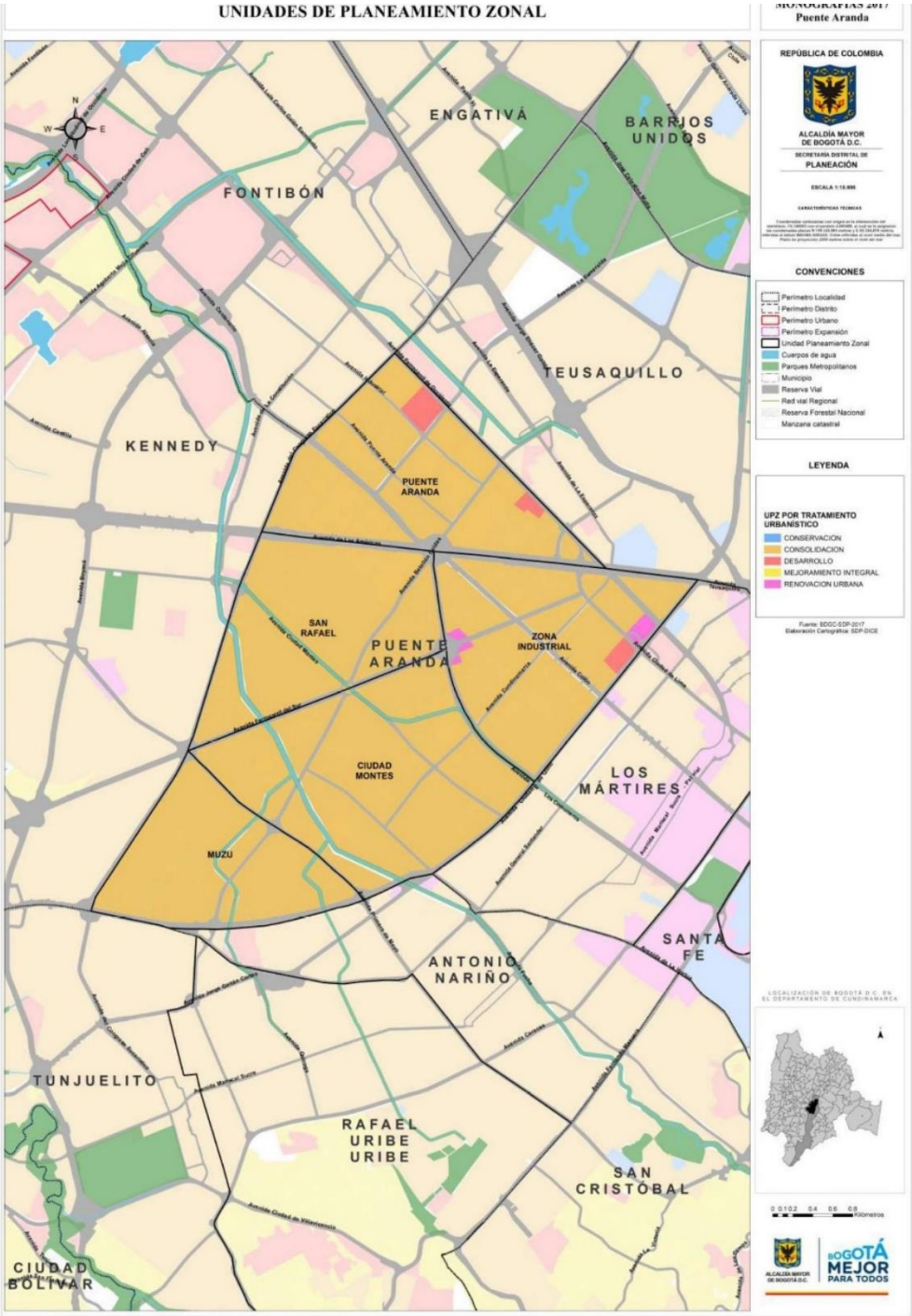
Tabla 1 Clasificación y extensión por UPZ Fuente Secretaria Distrital de Planeación (2017)

Figura 1 Distribución territorial UPZ Puente Aranda



Fuente Secretaria Distrital de Planeación (2017)

Mapa 1 Unidades de Planeación Zonal Puente Aranda



Fuente Secretaria Distrital de Planeación (2017)

2. Población por UPZ (2014-2017):

UPZ	2014	2015	2016	2017
Ciudad Montes	91642	90329	88950	87521
Muzu	52466	51714	50924	50107
San Rafael	69202	68211	67170	66091
Zona Industrial	3777	3725	3668	3609
Puente Aranda	14282	14409	14508	14578
Total	231369	228388	225220	221906

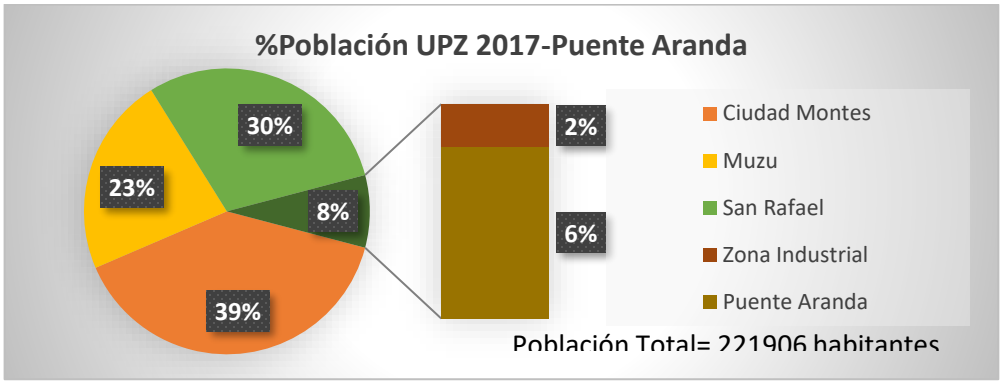
Tabla 2 Población por UPZ (2014-2017) Fuente Secretaria Distrital de Planeación (2017)

3. Población y su distribución por UPZ, año 2017

UPZ	Población (2017)	%Población	Densidad Poblacional (hab/ha)
Ciudad Montes	87521	39.4%	196.4
Muzu	50107	22.6%	198.2
San Rafael	66091	29.8%	200.7
Zona Industrial	3609	1.6%	10.4
Puente Aranda	14578	6.6%	40.9
Total	221906	100%	128.2

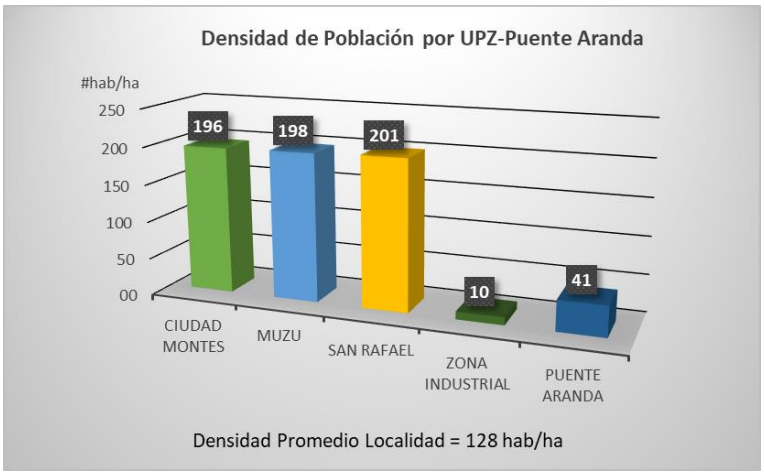
Tabla 3 Población y su distribución por UPZ Fuente Secretaria Distrital de Planeación (2017)

Figura 2 Distribución Población por UPZ Puente Aranda año 2017



Fuente: Secretaria Distrital de Planeación (2017)

Figura 3 Densidad Poblacional por UPZ Puente Aranda



Fuente: Secretaria Distrital de Planeación 2017

6. Sectores Catastrales de la Localidad

Para el estudio técnico de la ciudad, la Secretaria Distrital de Planeación divide el territorio en *sectores catastrales,* cada uno de estos sectores se compone de varias manzanas y está delimitado principalmente por vías de la malla vial arterial o zonal o por límites naturales. En algunos casos los sectores catastrales pueden ubicarse en más de una localidad, para facilitar los trabajos estadísticos que con base en ellos se puedan desarrollar, están codificados y se asignan a la localidad donde tiene mayor área. En el contexto urbano, estos sectores se denominan barrios; en el rural, veredas, y existe una categoría mixta que mezcla lo urbano y rural. (Secretaria Distrital de Planeación, 2017).

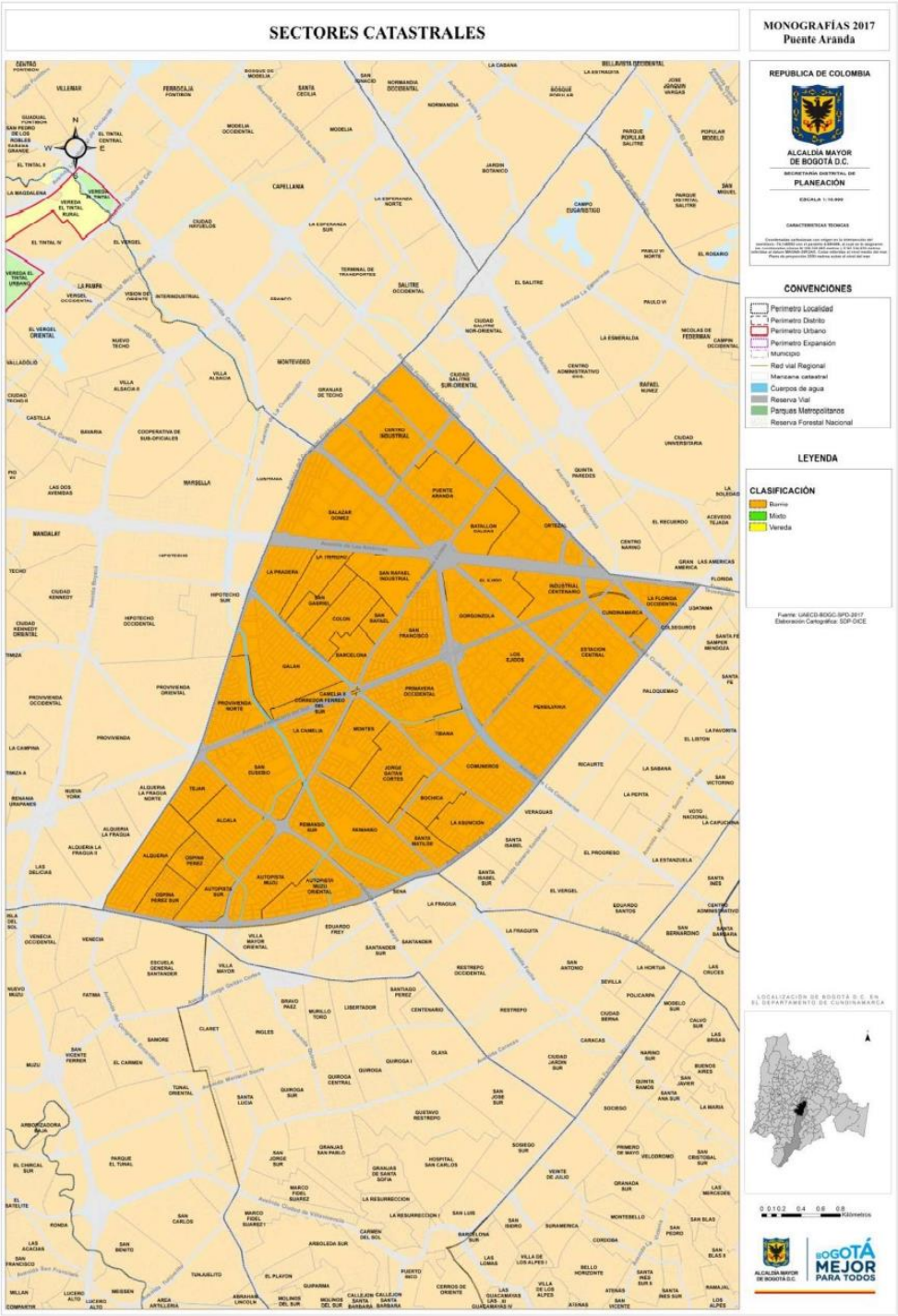
Puente Aranda cuenta con 44 sectores catastrales, todos estos se ubican dentro de la localidad, y están distribuidos de la siguiente forma en cada una de las cinco UPZ:

Número	UPZ	# Sectores Catastrales
40	Ciudad Montes	12
41	Muzu	8
43	San Rafael	11
108	Zona Industrial	8
111	Puente Aranda	5
Total		44

Tabla 4 Sectores Catastrales por UPZ Fuente Secretaría Distrital de Planeación (2017)

En el mapa 2 se puede ver la distribución geográfica de los sectores catastrales de la localidad de Puente Aranda:

Mapa 2 Sectores Catastrales Puente Aranda



Fuente *Secretaria Distrital de Planeación (2017)*

7. Usos del Suelo

El uso del suelo es la indicación normativa sobre la actividad que se puede desarrollar en un determinado espacio geográfico de conformidad con lo planificado y reglamentado por la respectiva autoridad de la unidad orgánica catastral. (Secretaria Distrital de Planeación, 2017, pg. 24)

En la tabla 5 se muestra el porcentaje de área de la localidad, por cada tipo de uso de suelo:

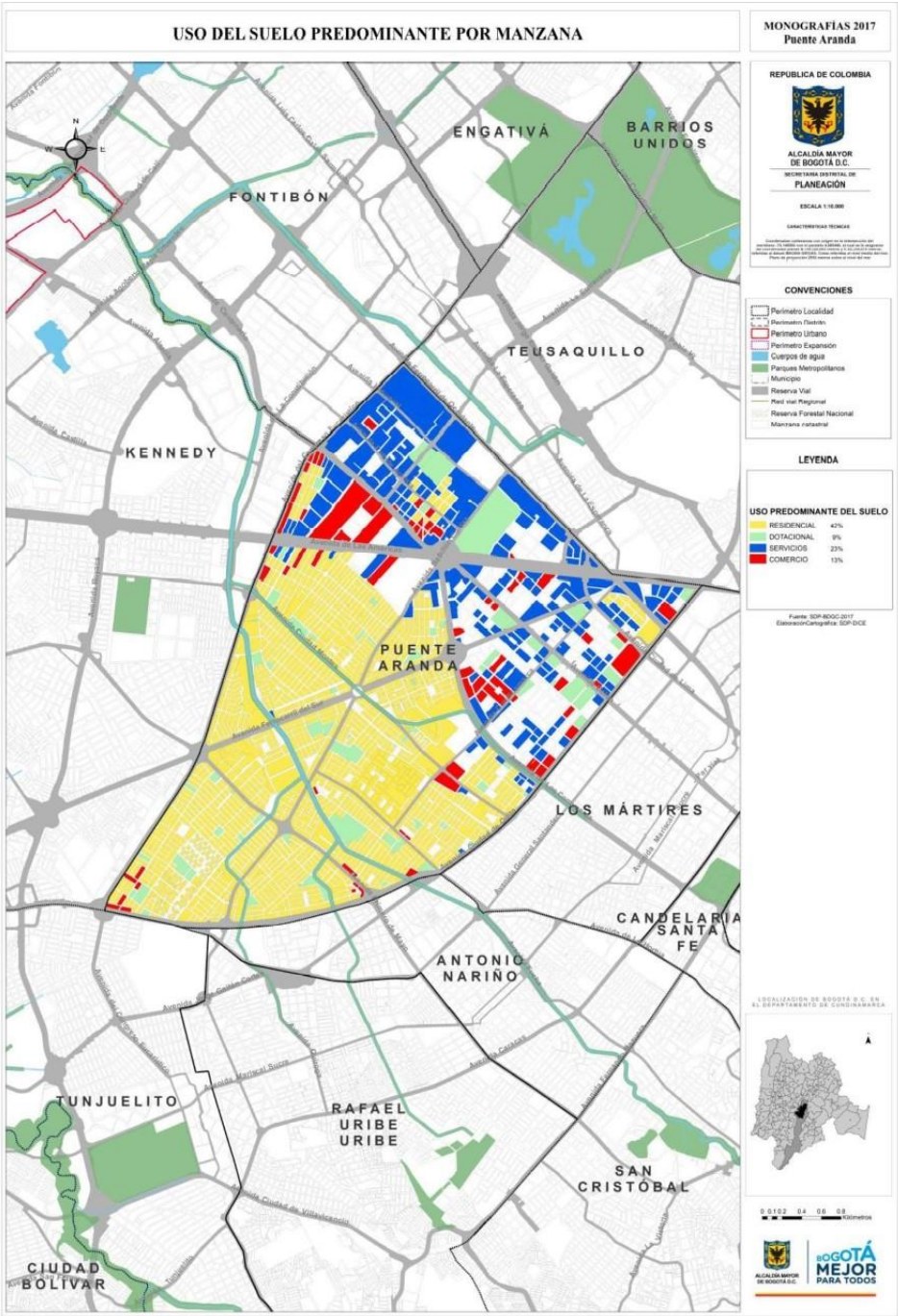
Tipo de Uso de Suelo	Porcentaje en Área de la Localidad
Residencial	42.0%
Comercial	13.5%
Dotacional	9.0%
Servicios	22.9%
Industria	12.2%
Otros	0.4%
Total	100.0%

Tabla 5 Distribución Usos del Suelo Fuente Secretaria Distrital de Planeación (2017)

Por otro lado, Puente Aranda destaca respecto a las demás localidades, por tener el mayor porcentaje de área de predios con uso principal: industria, y por ser la cuarta con mayor porcentaje en el uso de servicios.

En el mapa 3 se puede apreciar la distribución geográfica de los diferentes usos del suelo:

Mapa 3 Usos de Suelos Puente Aranda



Fuente Secretaria Distrital de Planeación (2017)

8. Estratificación

La estratificación socioeconómica es una herramienta de focalización del gasto que se utiliza para clasificar los inmuebles residenciales de acuerdo con las metodologías diseñadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. En la Estratificación urbana la unidad de clasificación es la manzana

La clasificación por estratos se define así:

- Estrato 1: Bajo-bajo
- Estrato 2: Bajo
- Estrato 3: Medio-bajo
- Estrato 4: Medio
- Estrato 5: Medio-alto
- Estrato 6: Alto

De las manzanas de Puente Aranda, el 77,6% se encuentran en Estrato 3, el 22,1% en clasificación Sin Estrato y el 0,3% en Estrato 2.

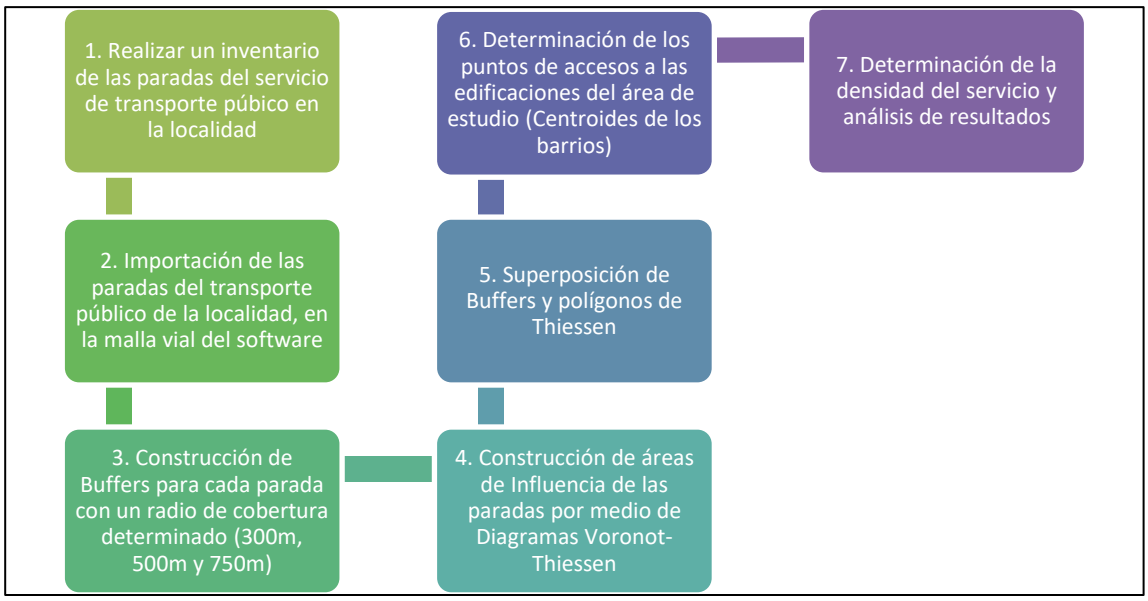
Metodología

La cobertura del transporte público es un parámetro cuantitativo del alcance territorial que el servicio ofrece a los habitantes de un área urbana determinada. La evaluación de este indicador para la localidad de Puente Aranda, se realizará por medio del software ArcGIS Pro, una herramienta SIG que relaciona y georreferencia las estadísticas poblacionales y de movilidad del caso de estudio recolectadas en las bases de datos distritales (Secretaria Distrital de Movilidad, Secretaria Distrital de Planeación, entre otros), con el territorio de la localidad.

El cálculo de este indicador es presentado en la literatura por distintos autores como lo son (Hernández, 2017), (Gutiérrez & García, 2005), (Peréz.L.E, 2018), (Cardona et al., 2017), (Anzola Parra, 2017), entre otros.

En este trabajo se consideran los procedimientos de (Hernández, 2017) y (Peréz.L.E, 2018) para el cálculo del indicador de cobertura, con unos valores de 300m, 500m y 750m para los radios de las áreas de influencia o buffers de cada uno de los paraderos. En la figura 4 se muestra el procedimiento para el cálculo de la Cobertura del Transporte Público con el uso de herramientas SIG y en la tabla 6 las variables relacionadas en este proceso.

Figura 4 Procedimiento para el cálculo de la Cobertura del Transporte Público con el uso de herramientas SIG



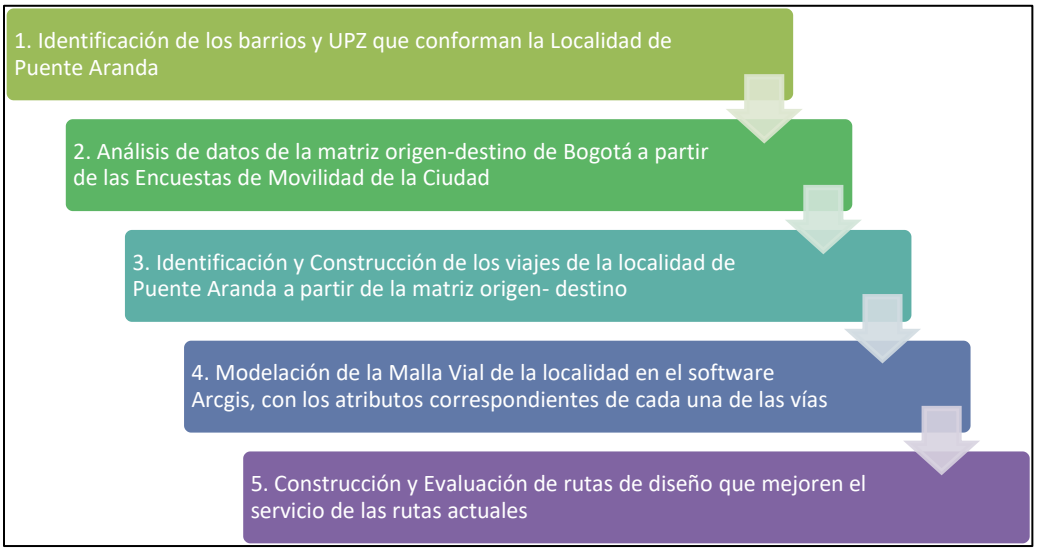
Fuente (Hernández, 2017) y (Peréz.L.E, 2018)

	Variables relacionadas para el cálculo de la Cobertura del Transporte Público
1	Distribución geográfica de los paraderos del transporte público
2	Áreas de influencia de los paraderos de transporte público (Polígonos de Thiessen)
3	Distribución geográfica de los centroides de los barrios o sectores catastrales
4	Estadísticas sociodemográficas de los barrios de la localidad
5	Atributos de la malla vial

Tabla 6 Variables relacionadas en el cálculo de la Cobertura del Transporte Público Fuente (Hernández, 2017) y (Peréz.L. E, 2018)

Por otro lado, también se realizará un análisis de las rutas de pasajeros de la localidad mediante la herramienta Network Analyst de ArcGIS. En este caso se seguirá la metodología de (Serna-Uran et al., 2016), la cual busca mejorar la eficiencia de una ruta actual del sistema, mejorando la capacidad de pasajeros y el tiempo de viaje. Las etapas de este proceso se muestran en la figura 5.

Figura 5 Proceso de Análisis de Rutas de Transporte de Pasajeros, mediante la herramienta Network Analyst de ArcGIS



Fuente (Serna-Uran et al., 2016)

Luego, a partir de los resultados obtenidos se realizará un análisis de la calidad del servicio de transporte público a nivel de cobertura y de la eficiencia de las rutas evaluadas. Por último, se presentarán las conclusiones y recomendaciones, que permitan crear estrategias que contribuyan a mejorar el nivel de servicio actual del transporte público en la localidad de Puente Aranda.

Los datos geoespaciales (Geodatabases) de la localidad usados en el cálculo de la cobertura y el análisis de ruta se tomaron de las siguientes bases de datos distritales y nacionales. (Tabla 7):

Base de Datos	Geodatabases
Datos abiertos Secretaría Distrital de Movilidad	Malla Vial Bogotá Paraderos Sitp[1] de Bogotá
Datos Abiertos Bogotá	Red Semafórica de Bogotá D.C
Secretaría Distrital de Movilidad	ZAT[2] y UTAM[3] de Bogotá D.C Matriz Origen-Destino Buses Urbanos Sitp Bogotá
Departamento Nacional de Estadística DANE	Manzanas Censales Colombia

Tabla 7 Bases de datos y Geodatabases usadas para el cálculo de la cobertura y el análisis de rutas del transporte público en la localidad

Resultados

Luego de importar, georreferenciar, verificar, y analizar la información de la localidad de Puente Aranda usando el software ArcGIS, se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Cobertura del Transporte Público

El Mapa 4 es el resultado de dibujar áreas de influencia (300m, 500m, 750m), alrededor de cada uno de los Paraderos Sitp de Bogotá. A cada una de estas áreas se le asigno un color según el radio del buffer; azul claro (300m), morado (500m), naranja (750m).

[1] Sitp: Sistema Integrado de Transporte Público de la ciudad de Bogotá

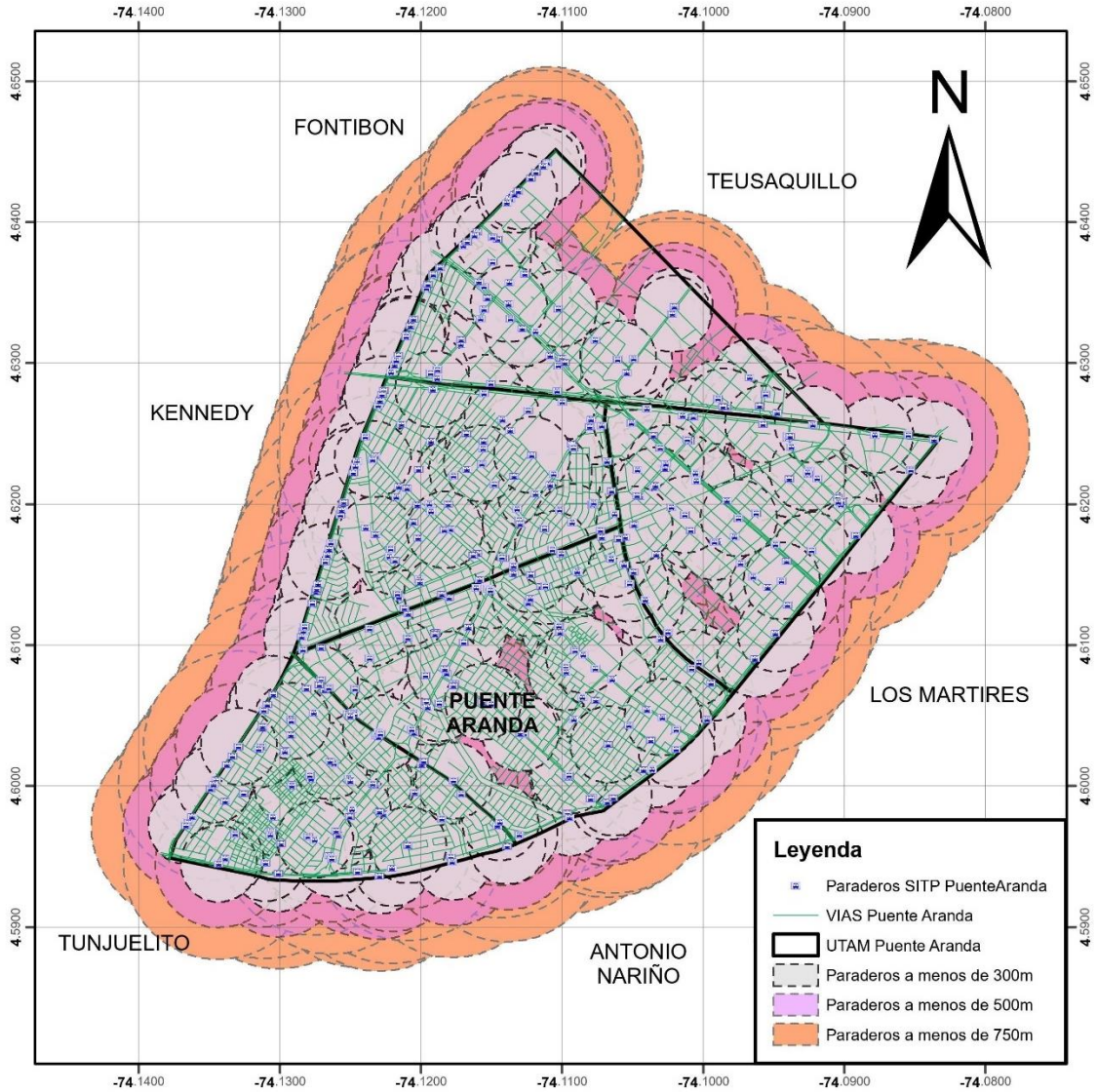
[2] Entiéndase UTAM como las Unidades Territoriales de Análisis de Movilidad definidas por la Encuesta de Movilidad de Bogotá 2019, en el caso de Puente Aranda las UTAM coinciden con las Unidades de Planeamiento Zonal UPZ

[3] Entiéndase ZAT como Zonas de Análisis del Transporte definidas por la Encuesta de Movilidad de Bogotá 2019, en el caso de Puente Aranda se tienen 45 ZAT, para 44 sectores catastrales.

Mapa 4

Cobertura Transporte Público

Localidad Puente Aranda, Bogotá



Fuente Propia sobre la base de datos de la Secretaria Distrital de Movilidad y el Departamento Nacional de Estadística DANE

Luego de obtener las tres capas de los buffers de los paraderos (300m, 500m y 750m), se decidió contabilizar el número de habitantes registrados en el interior de cada uno de estos. Los datos de los habitantes se extrajeron de la capa de centros de manzanas censales. Realizado el respectivo conteo y verificación del número de habitantes contenido en cada área de influencia, se obtuvieron los registros de la Tabla 8:

Número de Habitantes de la Localidad						
Cobertura	Menos de 300 m	%	Menos de 500m	%	Menos de 750m	%
SI	227164	98.3	231062	99.99	231090	100
NO	3926	1.7	28	0.01	0	0
TOTAL	231090	100.0	231090	100.00	231090	100

Tabla 8 Cobertura Transporte Público Puente Aranda según las áreas de Influencia Paraderos Sitp
Fuente Propia a partir del análisis de software

A partir de la información anteriormente presentada se puede inferir que el nivel de cobertura del transporte público en la localidad de Puente Aranda equivale al 98.3% de sus habitantes para un área de influencia de paraderos Sitp de 300m, esto quiere decir que esta población, reside a menos de 300m del paradero de bus más cercano. Por otro lado, si se mira el nivel de cobertura para un área de influencia de 500m se puede observar que se logra un nivel de cobertura del 99,99%, abarcando casi en su totalidad la extensión de la localidad. Por último, se observa que tan solo el 0.01% de habitantes de la localidad residen a más de 500m y a menos de 750m de un paradero Sitp.

Tomando como criterio de evaluación, un nivel de cobertura “suficiente” igual al 80% y “optimo” cercano o igual al 100% de la población cubierta para un área de influencia de 500m, basados en el estudio de García Schilardi (2017), del transporte público en el Área Metropolitana de Mendoza, Argentina; con base a los indicadores

expuestos por (Molinero & Sánchez Arellano, 2005), para evaluar la dimensión operativa del mismo. Se llega a la conclusión de que la localidad de Puente Aranda ofrece un nivel de cobertura “optimo” para sus habitantes pues el 98,3% se desplazan menos de 300m hasta un paradero Sitp y el 1.69% entre 300 a 500m, y tan solo el 0.01% de los habitantes tienen que caminar entre 500 y 750m.

Esto, en términos de tiempo, según las estimaciones de García Schilardi (2017), significa que en promedio los habitantes de Puente Aranda se demoran en sus desplazamientos a pie desde sus hogares hasta los paraderos de bus tres (3) minutos. Lo anterior habla muy bien de la expansión del sistema de transporte público en la localidad de Puente Aranda e invita a trabajar por seguir aumentando el nivel de cobertura de 300 m de área de influencia en los próximos años.

Para finalizar, los sectores catastrales que podrían mejorar su nivel de cobertura, a un área de influencia de 300m de los paraderos Sitp, en la extensión de su superficie son: Centro Industrial, Jorge Eliecer Gaitán, Montes, Pensilvania y Remanso,

2. Densidad del Servicio

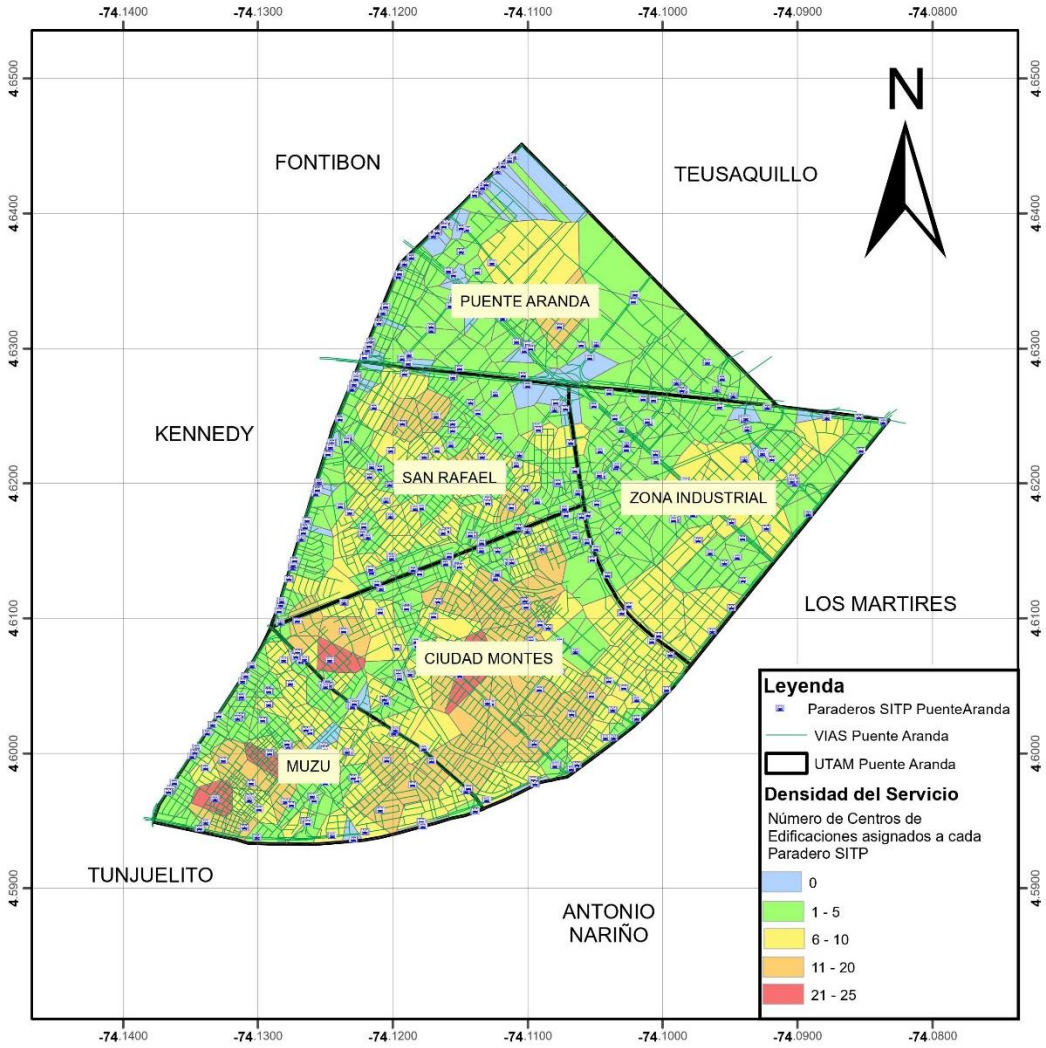
Para estimar la densidad del servicio del transporte público, se contabilizo el número de centros de manzanas, contenidos en cada uno de los polígonos de Voronoi-Thiessen de los paraderos Sitp, estos últimos representan las áreas de influencia de los paraderos en la localidad, en función de su distribución geográfica y su separación respecto a los demás paraderos (Peréz.L.E, 2018).

En el mapa 5 se muestra cada uno de los polígonos de Thiessen, clasificados por colores en función del número de centros de manzanas que cada uno de estos contenga. El color azul no cuenta con ningún centro de manzana, mientras que el

Mapa 5

Densidad del Servicio

Localidad Puente Aranda, Bogotá



Fuente Propia sobre la base de datos de la Secretaria Distrital de Movilidad y el Departamento Nacional de Estadística DANE

color rojo representa el mayor rango de centros de manzanas contenidas en un polígono, entre 20 y 25. A su vez se encuentran otros colores intermedios, verde, amarillo y naranja, que aumentan de rango de número de centros de manzanas en el orden anteriormente mencionado.

A mayor número de centros de manzanas contenidos en un polígono se presentará una mayor demanda de usuarios para un determinado paradero, y una baja densidad del servicio, esto a nivel operacional podría presentar problemas en la prestación del servicio, pues puede que el sistema no disponga de la oferta necesaria de paraderos y rutas para atender este gran número de pasajeros, lo que aumentaría el tiempo de los viajes de los usuarios y reduciría la calidad del servicio prestado. Por el contrario, los polígonos que contengan pocos centros de manzana dispondrán de una alta densidad del servicio

Concretamente para la localidad de Puente Aranda se evidencia una alta densidad del servicio en las UTAM Zona Industrial, Puente Aranda y San Rafael; pues a gran parte de los paraderos se les asignan usuarios de 1 a 5 centros de manzanas (polígonos verdes), en menor cantidad de 6 a 10 (polígonos amarillos), y uno que otro de 11 a 20 (polígonos naranjas).

Sin embargo, en las UTAM: Ciudad Montes y Muzu, hay una gran cantidad de paraderos que tienen a su cargo entre 11 a 20 centros de manzanas (polígonos naranjas) y otro conjunto de paraderos, poseen el rango más alto, entre 21 a 25 polígonos rojos). lo que representa una baja densidad del servicio en estas dos unidades territoriales de la localidad.

Aunque a priori se asocien las zonas de baja densidad del servicio como un problema en la operación del transporte público; será necesario realizar un diagnóstico más detallado de los paraderos in situ, que den a conocer el

funcionamiento actual de las rutas asignadas, revisando los tiempos de viaje, usuarios de ruta, tanto en horas valle como en horas pico, entre otros; que permitan identificar una baja oferta de paraderos y rutas para una alta cantidad de viajes, y dependiendo de la situación, se considere el Incluir más paraderos, para mejorar la densidad del servicio.

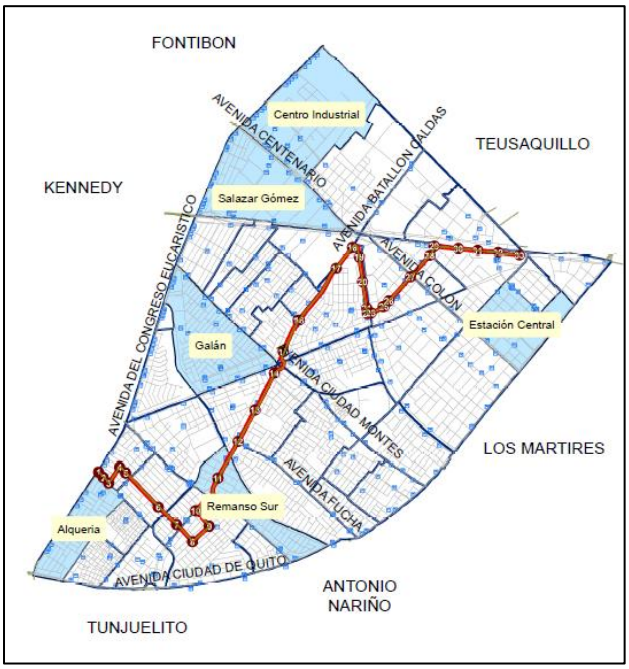
Finalmente, los sectores catastrales de la localidad a considerar para ampliar el estudio del bajo nivel de densidad de servicio y posibles problemas en la operación del transporte público son: *Jorge Eliecer Gaitán, Montes, Ospina Pérez, Remanso y San Eusebio.* Estos presentan en la mayor parte de su extensión, más de 11 centros de manzana (Polígonos naranjas y rojos),

3. Análisis de Rutas

Para el siguiente análisis se eligió la ruta Sitp 56-A: Isla del Sol - Porciúncula, la cual se muestra en la Figura 6. Esta ruta tiene una distancia de recorrido en sentido norte-sur y viceversa, dentro de la localidad de 7958 m, y cruza por 19 sectores catastrales, entre ellos: Alcalá, Alquería, Autopista Muzu, Autopista Sur, Barcelona, El Ejido, Galán, Gorgonzola, Industrial Centenario, La Camelia, Montes, Ortezal, Primavera Occidental, Remanso Sur, Remanso, San Francisco, San Rafael, San Rafael Industrial y Tejar. A su vez en su recorrido de ruta hay 12 cruces semaforizados.

Para la determinación de la nueva ruta optima se decidió ubicar 16 nodos que hacen parte del actual recorrido y logran cubrir la mayor cantidad de sectores catastrales y centros urbanos de la ruta actual. Para ejecutar la herramienta de nueva ruta con el Network Analyst, se eligió la distancia como impedancia

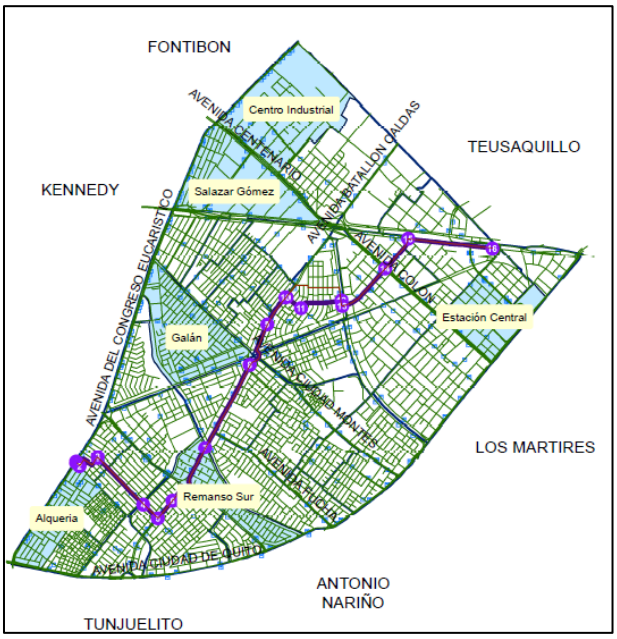
Figura 6 Ruta SITP seleccionada 56A: Isla del Sol - Porciúncula



Fuente Propia sobre la base de datos de Transmilenio y Secretaria Distrital de Movilidad

Luego de seleccionar los nodos y ejecutar la herramienta de creación de ruta por medio de la herramienta Network Analyst, se obtiene la ruta optima con una distancia de recorrido de 6740m, que cruza por 18 sectores catastrales entre ellos: Alcalá, Alquería, Autopista Muzu, Autopista Sur, Barcelona, El Ejido, Galán, Gorgonzola, Industrial Centenario, La Camelia, Montes, Ortezal, Primavera Occidental, Remanso Sur, Remanso, San Francisco, San Rafael, y Tejar; e intercepta con 11 cruces semaforizados. La figura 7 muestra la ruta optima.

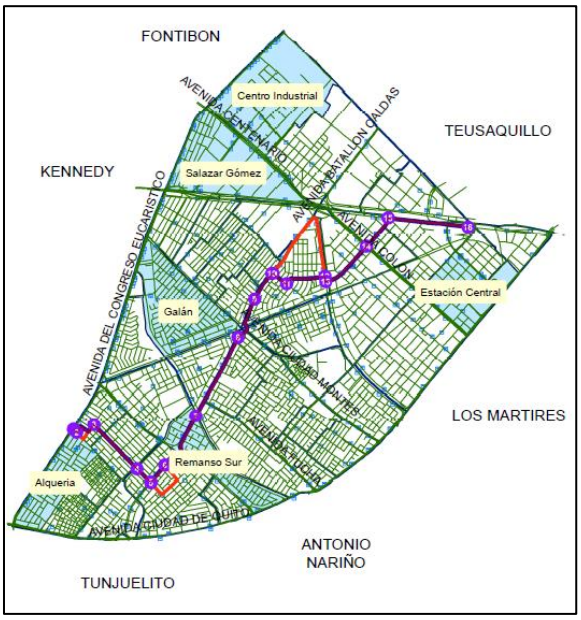
Figura 7 Ruta optima obtenida por el análisis de ruta



Fuente Propia sobre la base de datos de Transmilenio y Secretaria Distrital de Movilidad

A continuación, se realiza un análisis comparativo entre la ruta actual y la ruta optima, respecto a las distancias de recorrido, tiempos de viaje, velocidad promedio, número de cruces semaforizados, número de sectores catastrales cubiertos y el potencial de usuarios generados por estos sectores. En la figura 8 se muestra la ruta optima de color morado y la ruta actual de color rojo. A diferencia de la ruta actual que bordea el sector catastral de San Francisco haciendo su recorrido de sur a norte por la Carrera 50 y luego girando en sentido oriental por la Calle 6 hasta llegar a la altura de la Carrera 43 para girar en sentido norte (parte central de la figura), la ruta optima en su lugar, decide atravesar el sector de San Francisco de occidente a oriente por la calle 6A y la Carrera 43B, conectando así con la Calle 6,

Figura 8 Ruta optima vs Ruta actual



Fuente Propia sobre la base de datos de Transmilenio y Secretaria Distrital de Movilidad

	Distancia de recorrido (km)	Tiempo de Viaje (min)	Velocidad Promedio (km/h)	#Cruces Semaforizados	#Sectores Catastrales cubiertos	Potencial de Usuarios
Ruta Original (Isla del sol-Porciúncula)	7.958	25	19.1	12	19	82947
Ruta de diseño	6.74	22	18.4	11	18	76623
Diferencia	-15.31%	-12.00%	-3.76%	-8.33%	-5.26%	-7.62%

Tabla 9 Datos del Análisis Fuente Propia sobre la base de datos de Transmilenio y Secretaria Distrital de Movilidad

para luego girar por la Carrera 43 en sentido norte. Este nuevo trayecto permite reducir la distancia del recorrido y cubrir de mejor manera el sector de San Francisco. En la tabla 9 se resumen los datos más relevantes del análisis de rutas, la óptima y la actual, y permiten compararlas.

En términos generales la ruta optima presenta mejoras, en torno a la reducción porcentual de la distancia del recorrido (-15.31%), el tiempo de viaje (-12%), representado en una reducción de 3 minutos. y un (1) cruce semaforizado menos en su trayectoria. Y a su vez presenta desventajas respecto a la ruta actual a nivel de cobertura pues se presenta un menor número de sectores catastrales cubiertos de 19 a 18 y una reducción de potencial de usuarios del -7.62%

Conclusiones

A partir de los resultados del presente trabajo, el transporte público de la localidad de Puente Aranda se destaca por sus eficientes diseños de trayectorias de rutas, altos niveles de cobertura, y unos buenos registros de la densidad del servicio en gran parte de su territorio, con unos cuantos sectores catastrales por mejorar en estos dos últimos indicadores de cobertura y densidad del servicio.

En un principio, se encuentra un alto nivel de cobertura en la localidad, pues la gran mayoría de sus habitantes (98.3%) residen a una distancia menor de 300m de un paradero de bus, el 99.9% a menos de 500m, y el 100% a menos de 750m. Este nivel de cobertura habla muy bien de la operación del transporte público en la localidad, pues a partir de criterios de evaluación para este mismo indicador planteados por otros autores como García Schilardi (2017), Puente Aranda alcanza un nivel de cobertura cercano al 100%, de carácter “óptimo”, para áreas de influencias de los paraderos de radio 300m y 500m, y por otro lado garantiza que

los habitantes de la localidad caminen desde sus hogares hasta los paraderos en promedio 3 minutos y a lo sumo 5 minutos, lo que permite mejorar la calidad del servicio y reducir los tiempos de viaje.

Por su parte, la densidad del servicio presenta un comportamiento diferencial por unidades de planeamiento zonal, de un lado las UPZ: Puente Aranda, San Rafael y Zona Industrial registran una alta densidad del servicio, contando con un gran número de paraderos distribuidos de manera uniforme, para cada una de sus manzanas. En cambio, las UPZ Ciudad Montes y Muzu tienen una menor densidad del servicio, respecto a las anteriores, ya que hay una menor cantidad de paraderos en relación con el número de manzanas, lo que podría generar un problema de alta demanda de usuarios, para una baja oferta de paraderos y rutas.

Respecto al análisis de ruta, se considera eficiente al trayecto actual de la ruta urbana 56-A Isla del Sol-Porciúncula, ya que cubre una gran cantidad de sectores catastrales, permitiendo movilizar un numero alto de usuarios en sentido norte-sur y viceversa a lo largo de la extensión de la localidad, recorriendo 7958m de ruta, en un tiempo razonable de 25 minutos. Si se miran las distancias y tiempos de la ruta optima, 6740m y 22 min respectivamente, generados por la herramienta Network Analyst, aunque exista una ligera reducción de estos dos parámetros, hay un efecto negativo respecto a la ruta actual, pues se reducen en el número de usuarios cubiertos. Esto indica que la ruta actual presenta un buen nivel de operación y no requiere de un cambio en su trayecto y sus paradas.

Entre los aspectos a mejorar en la operación del transporte público al interior de la localidad. se encuentra principalmente, el aumentar el nivel de cobertura y la densidad del servicio en los sectores catastrales: Jorge Eliecer Gaitán, Montes y Remanso, ubicados en la UPZ: Ciudad Montes; los cuales presentan los registros

más bajos de la localidad en estas dos mediciones. Para aumentar estos niveles, se recomienda la instalación de nuevos paraderos al interior de estos sectores catastrales, ya que los actuales se encuentran solo en las vías principales de la localidad; esta implementación ayudaría a reducir los desplazamientos a pie de sus habitantes hasta los diferentes paraderos.

Por último, se puede destacar el uso de las herramientas SIG, en este caso los softwares ArcGIS Pro y ArcMap, en el desarrollo de este trabajo, ya que permitió analizar la información actual de la localidad de Puente Aranda, procesarla y presentarla en términos de cobertura, densidad del servicio y análisis de rutas. El uso de estos softwares hoy por hoy les permite a las entidades territoriales de cada ciudad o municipio, planificar las mejores intervenciones urbanas que contribuyan al desarrollo de su territorio y al beneficio de su comunidad.

Referencias

Anzola Parra, D. F. (2017). *Análisis de la cobertura del sitema de transporte masivo en la ciudad de Bogotá* [Universidad Militar Nueva Granada]. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Cardona, M., Escobar, D., & Zuluaga, J. (2017). Análisis de la red de ciclo-rutas de Manizales (Colombia) a partir de criterios de accesibilidad territorial urbana y cobertura de estratos socioeconómicos. *Espacios*, *38*(28), 10–20.

Datos Abiertos Bogotá. (n.d.). *Red Semaforica de Bogotá D C*. https://datosabiertos.bogota.gov.co/en/dataset/red-semaforica-de-bogota-d-c

Datos abiertos Secretaría Distrital de Movilidad. (2020a). *Malla Vial Integral Bogota D C*. https://datos.movilidadbogota.gov.co/datasets/malla-vial-integral-bogota-d-c

Datos abiertos Secretaría Distrital de Movilidad. (2020b). *Paraderos SITP Bogotá D C*. https://datos.movilidadbogota.gov.co/datasets/paraderos-sitp-bogotá-d-c

Departamento Nacional de Estadística DANE. (2018). *MGN-Nivel Manzana integrado al CNPV2018*. https://geoportal.dane.gov.co/servicios/descarga-y-metadatos/visor-descarga-geovisores/

García Schilardi, M. E. (2017). Evaluación de la dimensión operativa del transporte colectivo en el área metropolitana de Mendoza, Argentina. *Perspectiva Geográfica*, *22*(2), 29–46. https://doi.org/10.19053/01233769.5965

Gutiérrez, J., & García, J. . (2005). *Sobreestimaciones del cálculo de distancias en línea recta con respecto al de distancias viarias en el análisis de cobertura de las redes de transporte público"*.

Hernández, D. (2017). Transporte público, bienestar y desigualdad: cobertura y capacidad de pago en la ciudad de Montevideo. *Revista de La CEPAL N° 122 •*, *122*, 165–184. https://www.cepal.org/es/publicaciones/42036-transporte-publico-bienestar-desigualdad-cobertura-capacidad-pago-la-ciudad

Molinero, A. R., & Sánchez Arellano, L. I. (2005). *Transporte público: planeación, diseño, operación y administración*.

Monzón de Cáceres, A., & Hoz Sánchez, D. (2009). Efectos sobre la movilidad dinámica territorial de Madrid. In *Urban* (Issue 14).

Peréz.L.E. (2018). *Evaluación de la cobertura de paradas de transporte urbano QGIS 3*.

Pozueta, J. (2000). *Movilidad y planeamiento sostenible. Hacia una consideración inteligente del transporte y la movilidad en el planeamiento y el diseño urbano*.

Secretaría Distrital de Movilidad. (2019). *Caracterización de la movilidad - Encuesta de Movilidad de Bogotá 2019*.

Secretaría Distrital de Planeación. (2017). Monografía de localidades --No 16 Puente Aranda. In *Monogfrafía 2017. Diagnóstico de los principales aspectos territoriales, de infraestructura, demográficos y socioeconómicos. Localidad 11.*

Serna-Uran, C. A., García-Castrillón, J. A., & Flórez-Londoño, O. (2016). Análisis de Rutas de Transporte de Pasajeros Mediante la Herramienta Network Analyst de Arcgis. Caso Aplicado en la Ciudad de Medellín. *Ingenierías USBMed*, *7*(2), 89–95. https://doi.org/10.21500/20275846.2631

Transmilenio. (n.d.). *Buscador de rutas*. Retrieved November 25, 2020, from https://www.transmilenio.gov.co/buscador_de_rutas