

**Implementación de un análisis espacial para la reestructuración de rutas de
transporte público rural en el municipio de Chía**

Nancy Yolanda López Forero

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Maestría en Tecnologías de la Información Geográfica

Manizales, 2022

Implementación de un análisis espacial para la reestructuración de rutas de transporte público rural en el municipio de Chía

Nancy Yolanda López Forero

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Magíster en Tecnologías de la Información Geográfica

Director (a):

Ms. Andrés Felipe Melo Vargas

Línea de Investigación:

Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Maestría en Tecnologías de la Información Geográfica

Manizales, 2022

Resumen

El transporte público rural en los municipios de la sabana de Bogotá, en especial en el municipio de Chía, aunque ha existido oferta de transporte público, las rutas y cubrimientos en el Municipio no se han modificado desde hace 30 años, al principio no se pensó en las necesidades de los habitantes rurales y aún en este tiempo con una producción agrícola menor y mayor número de habitantes rurales no se han contemplados aspectos para mejorar el transporte, motivo por el cual, las rutas se establecieron de tal manera que recogieran a los campesinos y productos del campo llevándolos a la plaza o parque principal del municipio para realizar sus actividades de comercio.

El municipio de Chía se encuentra ubicado al norte de la ciudad de Bogotá y por su beneficiosa ubicación ha sido uno de los municipios donde mayor número de personas han migrado para encontrar una mejor calidad de vida sin estar lejos de la ciudad, esta situación se ha visto reflejada en el alto desarrollo urbanístico, de tal manera que las personas que en la actualidad habitan el municipio no solo necesitan desplazarse a la plaza central o parque, sino también a sitios de interés como son los centros educativos, comerciales, religiosos, deportivos y culturales.

Es por esta razón que se hace necesario replantear las rutas de transporte público rural que prestan el servicio a la población, pensando en estos puntos de interés para los usuarios, también en la recurrencia de las rutas y los recorridos realizados. El desarrollo de este proyecto pretende implementar un análisis espacial para la reestructuración de estas rutas vigentes, de tal manera que mejore la calidad del servicio para los ciudadanos y la movilidad del municipio. **Palabras clave:** movilidad, transporte, transporte público, municipio de Chía, rutas, malla vial, SIG.

Contenido

Contenido	Pág.
Introducción.....	1
1. Planteamiento del problema de investigación y justificación	3
1.1. Descripción del área problemática	3
1.2. Formulación del problema	5
1.3. Justificación.....	6
2. Antecedentes.....	8
3. Objetivos.....	19
3.1. Objetivo general	19
3.2. Objetivos específicos.....	19
4. Referente Contextual	21
5. Referente Normativo y legal	25
6. Referente teórico.....	29
6.1. Movilidad	29
6.2. Puntos de interés.....	38
6.3. Tecnologías de los Sistemas de la Información Geográfica - TIG	44
6.4. Software SIG	52
7. Metodología	57
7.1. Enfoque metodológico.....	57
7.2. Tipo de estudio.....	57
7.3. Diseño de la investigación.....	57
7.4. Operacionalización de variables.....	58
7.5. Planeamiento y desarrollo de la metodología.....	59
8. Resultados.....	93
8.1. Resultados alcanzados	93
8.2. Discusión de Resultados	101
9. Conclusiones.....	103
10. Recomendaciones.....	105
Referencias	106

Lista de figuras

	Pág.
<i>Ilustración 1. Localización del Municipio de Chía dentro del Departamento de Cundinamarca. Fuente: (Municipio de Chía, 2020).....</i>	21
<i>Ilustración 2. Municipio de Chía, Localización de las Veredas y Zona Urbana. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)).....</i>	22
<i>Ilustración 3. Localización de los terminales autorizados en el municipio de Chía para Transporte Público (Elaboración Propia).</i>	23
<i>Ilustración 4. Perfiles viales definidos en la Resolución 3177. Fuente: (Resolución 3177, 2017).</i>	24
<i>Ilustración 5. Terminal de transporte Urbano Chía.</i>	33
<i>Ilustración 6. Vehículos prestadores de servicio público urbano.....</i>	36
<i>Ilustración 7. Ruta a la Vereda Bojacá (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)).....</i>	38
<i>Ilustración 8. Localización de Centros Poblados en el municipio de Chía. (Elaboración Propia. Fuente: (Acuerdo 100 POT, 2016)).</i>	40
<i>Ilustración 9. Localización de Centros Educativos en el municipio de Chía. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).....</i>	42
<i>Ilustración 10. Tecnologías de la Información Geográfica –TIG. Fuente: (Nieto Masot, 2016).</i>	45
<i>Ilustración 11. Elementos que forman un SIG. Fuente: (Olaya, 2017).</i>	46
<i>Ilustración 12. Comparación entre esquema del modelo de representación vectorial (a) y ráster (b). Fuente: (Olaya, 2017).</i>	51
<i>Ilustración 13. Software libre (Elaboración Propia)</i>	54
<i>Ilustración 14. Porcentaje de cantidad de habitantes por Vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2020)).</i>	60
<i>Ilustración 15. Cantidad de habitantes por Vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2020) (Base Map ESRI, 2020)).</i>	61
<i>Ilustración 16. Cantidad de habitantes según el estrato por Vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2020)).</i>	62
<i>Ilustración 17. Porcentaje de cantidad de usuarios por Vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2020)).</i>	63
<i>Ilustración 18. Cantidad de usuarios por Vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2020) (Base Map ESRI, 2020)).</i>	63
<i>Ilustración 19. Malla Vial previa (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).....</i>	65
<i>Ilustración 20. Malla Vial depurada (Elaboración Propia. Fuente:(Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).....</i>	65
<i>Ilustración 21. Tipo de material de las vías por vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)).....</i>	66
<i>Ilustración 22. Malla vial, Velocidad máxima promedio (km/h) (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).</i>	67

<i>Ilustración 23. Paraderos existentes de rutas escolares (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).</i>	68
<i>Ilustración 24. Paraderos actuales aplicando polígonos proximales de Thiessen (Elaboración Propia).</i>	69
<i>Ilustración 25. Paraderos propuestos (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).</i>	70
<i>Ilustración 26. Puntos de interés - importancia con respecto a usuarios. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).</i>	70
<i>Ilustración 27. Paraderos propuestos por vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).</i>	71
<i>Ilustración 28. Rutas de transporte rural – Vereda Fonqueta (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).</i>	73
<i>Ilustración 29. Rutas de transporte rural – Vereda Tiquiza (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).</i>	73
<i>Ilustración 30. Rutas de transporte rural – Vereda Fagua (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).</i>	74
<i>Ilustración 31. Rutas de transporte rural – Vereda Bojacá (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).</i>	74
<i>Ilustración 32. Rutas de transporte rural – Vereda Cerca de Piedra (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).</i>	75
<i>Ilustración 33. Rutas de transporte rural – Vereda La Balsa (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).</i>	75
<i>Ilustración 34. Rutas de transporte rural – Vereda Yerbabuena y Vereda Fusca (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).</i>	76
<i>Ilustración 35. Puntos de interés - HotSpots (Elaboración Propia. Fuente: (Base Map ESRI, 2020)).</i>	77
<i>Ilustración 36. Resumen del vecino más cercano promedio (Elaboración Propia. Fuente: (ArcGIS, 2021)).</i>	78
<i>Ilustración 37. Densidad de Kernel (Elaboración Propia).</i>	79
<i>Ilustración 38. Malla vial – Puntos de interés. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).</i>	80
<i>Ilustración 39. Spatial Join vías y paraderos. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)).</i>	81
<i>Ilustración 40. Rutas de transporte público rural Propuestas. (Elaboración Propia. Fuente: (Base Map ESRI, 2020)).</i>	83
<i>Ilustración 41. Rutas de transporte público rural Propuestas- Vereda Fonquetá. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)).</i>	84
<i>Ilustración 42. Rutas de transporte público rural Propuestas - Vereda Cerca de Piedra. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)).</i>	85
<i>Ilustración 43. Rutas de transporte público rural Propuestas - Vereda Tiquiza. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)).</i>	87
<i>Ilustración 44. Rutas de transporte público rural Propuestas - Vereda Fagua. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)).</i>	88

<i>Ilustración 45. Rutas de transporte publico rural Propuestas - Vereda Bojacá. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).</i>	89
<i>Ilustración 46. Rutas de transporte publico rural Propuestas - Vereda La Balsa. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).</i>	90
<i>Ilustración 47. Rutas de transporte publico rural - Vereda Fusca y Vereda Yerbabuena. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).</i>	92
<i>Ilustración 48. Comparación de rutas para la vereda Fonquetá (Elaboración Propia. Fuente: (Base Map ESRI, 2020)).</i>	94
<i>Ilustración 49. Comparación de rutas para la vereda Cerca de Piedra (Elaboración Propia. Fuente: (Base Map ESRI, 2020)).</i>	95
<i>Ilustración 50. Comparación de rutas para la vereda Tiquiza (Elaboración Propia. Fuente: (Base Map ESRI, 2020)).</i>	96
<i>Ilustración 51. Comparación de rutas para la vereda Fagua (Elaboración Propia. Fuente: (Base Map ESRI, 2020)).</i>	97
<i>Ilustración 52. Comparación de rutas para la vereda Bojacá (Elaboración Propia. Fuente: (Base Map ESRI, 2020)).</i>	98
<i>Ilustración 53. Comparación de rutas para la vereda La Balsa (Elaboración Propia. Fuente: (Base Map ESRI, 2020)).</i>	99

Lista de tablas

	Pág.
<i>Tabla 1. Variables e Indicadores. (Elaboración Propia)</i>	58
<i>Tabla 2. Esquema Propuesto de metodología (Elaboración Propia)</i>	59
<i>Tabla 3. Cantidad de habitantes por Vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2020))</i>	60
<i>Tabla 4. Cantidad de usuarios por Vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2020))</i>	62
<i>Tabla 5. Rutas de transporte rural, tiempo de recorrido, frecuencia (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017))</i>	72
<i>Tabla 6. Rutas de transporte rural Propuestas (Elaboración Propia)</i>	82
<i>Tabla 7. Comparación de rutas para la vereda Fonquetá (Elaboración Propia)</i>	93
<i>Tabla 8. Comparación de rutas para la vereda Cerca de Piedra (Elaboración Propia)</i>	94
<i>Tabla 9. Comparación de rutas para la vereda Tiquiza (Elaboración Propia)</i>	95
<i>Tabla 10. Comparación de rutas para la vereda Fagua (Elaboración Propia)</i>	96
<i>Tabla 11. Comparación de rutas para la vereda Bojacá (Elaboración Propia)</i>	97
<i>Tabla 12. Comparación de rutas para la vereda La Balsa (Elaboración Propia)</i>	99
<i>Tabla 13. Rutas para las veredas de Fusca y Yerbabuena (Elaboración Propia)</i>	100

Introducción

Este trabajo inicia con el planeamiento de una situación problema que se presenta en la mayoría de municipios, más exactamente en el ámbito de la movilidad. Es así como este proyecto tiene como objetivo generar una propuesta para mejorar la calidad de vida de las personas que se movilizan en la ciudad. El interés de este proyecto está enfocado en el municipio de Chía, por lo tanto, se pretende implementar un análisis espacial para la reestructuración de las rutas de transporte público rural dentro del municipio, esto con el fin de mejorar la movilidad dentro del municipio y prestar un mejor servicio de transporte a los usuarios del sistema, sin dejar de lado a los demás actores del sistema de transporte como son: las empresas prestadoras del servicio, los conductores de los vehículos y las autoridades locales. La movilidad eficiente en una ciudad garantiza el bienestar y una mejor calidad de vida de los ciudadanos, existen varias alternativas para desplazarse de un lugar a otro en un municipio, entre estos está el transporte público, que está normalizado por autoridades locales y regionales.

Los Sistemas de información geográfica son una herramienta útil para el análisis, que permiten simular situaciones o eventos que se presentan en el entorno, de esta manera se pueden realizar estudios y hacer pronósticos, en el ámbito de la movilidad más exactamente del análisis de las rutas de transporte público existen diversas investigaciones que se han desarrollado con el fin de mejorar costos, tiempo, distancias. Adicionalmente existen algoritmos informáticos y matemáticos que se han desarrollado para solucionar temas relacionados con el mejoramiento y estructuración de rutas. En los antecedentes encontrados se destaca la importancia de los SIG y las múltiples

maneras en que se puede procesar la información para realizar estudios de movilidad, todas con el fin de mejorar tiempo, costo y distancias en recorridos.

Con la información recolectada se pretende implementar un análisis espacial con la utilización de un software SIG que muestre la situación que se presenta con el recorrido de las rutas de transporte público, a su vez el modelo tendrá información de interés como son los paraderos, terminales tiempos de recorrido y en general todas las variables que permitan realizar el análisis de estos eventos, con el fin de mejorar tiempos, costos en los recorridos de las rutas existentes, identificado las principales falencias y proponiendo soluciones a las mismas. El resultado esperado de este estudio será un referente para las autoridades locales para plantear, formular y promover políticas públicas para el mejoramiento del servicio.

1. Planteamiento del problema de investigación y justificación

1.1. Descripción del área problemática

En los últimos años se ha presentado un incremento significativo en la migración de población hacia el municipio de Chía, desde la ciudad de Bogotá y otros municipios. Según su ubicación geográfica y la facilidad de acceso a la capital del país y con cerca de 145,752 habitantes (Municipio de Chía, 2020), Chía se ha convertido en uno de los municipios con la mayor población en la sabana, es así que, con el incremento en el número de habitantes se presentan problemas de movilidad, dificultando el acceso a lugares como centros educativos, centros comerciales, lugares de trabajo y en general lugares de interés para los habitantes. Según datos de la Secretaría de Movilidad y de la Alcaldía Municipal de Chía, la malla vial aproximada del municipio en la zona urbana es de 74 kilómetros, la velocidad promedio en que circulan los vehículos es de 20 KM/H, adicionalmente la cantidad de vehículos supera la capacidad de algunas de las vías principales esto genera congestión vehicular en zonas, principalmente en las intersecciones, salidas y entradas al centro del municipio, por otro lado, en la mayoría de vías rurales se presenta buena movilidad en vehículos.

Con el alto desarrollo urbano que se ha presentado en los últimos años en el municipio de Chía y las últimas actualizaciones que modificaron zonas rurales del municipio pasando a zonas de expansión urbana o centros poblados, en este escenario, se revela que la población del municipio seguirá aumentando en los próximos años.

Algunas causas del problema de movilidad en el municipio dependen de diversos factores entre los que se encuentran: el estado de la infraestructura de la malla vial del

municipio, tránsito de vehículos pesados de municipios aledaños y Bogotá, la falta de señalización de algunas vías y las falencias del servicio de transporte público.

Actualmente el sistema de rutas de transporte rural en el municipio está diseñado en torno al centro histórico del municipio, es decir, tienen establecidas sus rutas para que transiten alrededor del parque principal del municipio, esto genera problemas de movilidad en el centro y retrasos en la prestación del servicio, si se realiza el análisis y reestructuración de los trazados de estas rutas los usuarios se beneficiarán disminuyendo los tiempos, desplazamientos y costos en el uso de este servicio.

Tomando como referencia el Acuerdo del POT (Acuerdo 100 POT, 2016) y los estudios previos que se han realizado en cuanto a la movilidad del municipio, resulta necesario descentralizar el tránsito de vehículos de servicio público en la zona histórica del municipio, también se deben establecer alternativas para mejorar los recorridos de rutas para los usuarios en la zona rural, de manera que, se logre mejorar el servicio de transporte que se presta actualmente.

En la actualidad se han propuesto iniciativas para mitigar la congestión vehicular y el flujo de transporte de carga por las vías de acceso al municipio, entre las que se encuentran las restricciones en horarios establecidos para vehículos de tráfico pesado en la zona urbana, de igual forma, se han mejorado el estado de las vías implementando señalización, demarcación y semaforización de rutas de ciclo vía para motivar a los habitantes a hacer uso de la bicicleta como medio de transporte.

Por otra parte, el servicio de transporte público rural en el municipio actualmente se realiza por empresas privadas que se regulan bajo la normatividad vigente por el Ministerio de Tránsito, la supervisión y vigilancia de la prestación de este servicio a la

comunidad lo realiza la Secretaría de Movilidad del municipio. El servicio de transporte rural presenta algunas falencias en cuanto a temas relacionados a la prestación de servicios, esto genera quejas y reclamos de la comunidad. Es labor de la alcaldía por intermedio de la Secretaría de Movilidad gestionar y establecer dinámicas que mejoren y beneficien a la ciudadanía conforme a la prestación del servicio de transporte y a la movilidad dentro del municipio.

1.2. Formulación del problema

En el municipio de Chía con el crecimiento de la población, se presentan problemas en el sistema de transporte público, porque a pesar de los esfuerzos de las empresas prestadoras del servicio hay falencias en cuanto a la planeación y ejecución de las rutas que se encuentran implementadas, esto genera inconformismo de los ciudadanos, sobrecostos en la operación de los vehículos y alto tráfico en algunas vías del municipio. El uso del transporte público es una necesidad para las personas que habitan el municipio de Chía, dado que integra las actividades que se realizan tanto en la zona urbana como en la zona rural. El fácil acceso y buena movilidad dentro del municipio mejora la calidad de vida de los habitantes, disminuyendo los tiempos de recorridos y comodidad en los traslados en el servicio de transporte público.

El sistema de transporte público en el municipio de Chía se estableció mediante decretos municipales, donde se autoriza a empresas privadas conformadas dentro del mismo municipio a prestar el servicio. Según el Acuerdo del POT (Acuerdo 100 POT, 2016), se establecen proyectos con el fin de mejorar el sistema de transporte público, en los que se destaca la elaboración e implementación de un plan de movilidad, en el cual

se estructure un plan de transporte público colectivo y veredal de pasajeros en el municipio.

Por lo anterior, es necesario establecer mejoras y/o la estructuración de un sistema de rutas en el transporte público rural, considerado todos los factores que intervienen en el sistema, como son: los usuarios, los prestadores de servicios, la malla vial, los vehículos, el marco normativo, entre otros; con esto se busca el mejoramiento del acceso y la movilidad dentro del municipio, razones por lo cual es preciso ***“Implementar un análisis espacial para la reestructuración de rutas de transporte público rural en el municipio de Chía”***.

1.3. Justificación

El mejoramiento de la movilidad es un tema de importancia para las administraciones municipales, regionales y nacionales, si se tiene una mejor movilidad no solo se mejora la calidad de vida de los ciudadanos, también se mitigan los efectos de la contaminación proveniente del mal funcionamiento del sistema de transporte público y particular. Si se cuenta con un sistema de transporte público organizado y funcional, los costos de operación y mantenimiento de los vehículos, se disminuirían y se prestaría un mejor servicio a la ciudadanía.

De igual forma, si se realiza un análisis minucioso a todos los factores que están presentes en el sistema de transporte se puede hacer un ajuste y reestructuración de rutas de transporte rural en el municipio de Chía donde se vean beneficiados todos los usuarios del sistema. El desarrollo urbano y rural del municipio de Chía ha aumentado en los últimos años, esto genera la necesidad de realizar mejoras pensando en soluciones que beneficien a los usuarios principales del sistema de transporte.

Tomando como referencia información relacionada en el POT del municipio (Acuerdo 100 POT, 2016) se puede evidenciar que algunos conceptos de perfiles viales son insuficientes con respecto a la cantidad de vehículos que circulan en las vías principales y en las arterias del municipio, esto genera caos vehicular y a su vez los inconformismos en usuarios del transporte público, todo esto se ve reflejado en las quejas interpuestas en las empresas prestadoras de este servicio y en los organismos de tránsito correspondientes.

La finalidad de este proyecto es implementar un análisis espacial de las rutas que actualmente están en funcionamiento, de acuerdo a esto realizar los ajustes y la reestructuración de las mismas. El resultado de este análisis será una herramienta útil para la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes, la Secretaría de Movilidad del municipio y las empresas prestadoras del servicio de transporte público rural.

2. Antecedentes

Los temas relacionados con la movilidad, son de interés para las autoridades ya sea a nivel local o nacional, dada la importancia de este tema se pueden evidenciar investigaciones previas donde se plantean algunas alternativas de solución, al realizar una revisión y análisis de las investigaciones precedentes relacionadas con temas concernientes a la reorganización y optimización de rutas, es importante resaltar algunos de estos documentos.

Teniendo en cuenta la publicación de (Florez et al., 2016) en la cual se destaca la importancia que dan a los sistemas de información geográfica para realizar análisis de redes de transporte en escenarios urbanos, también resaltan que los sistemas de información geográfica pueden facilitar la integración de análisis espaciales y geoestadísticos, que han sido ignorados en modelos logísticos y con los cuales mejorarían la toma de decisiones en este campo. A su vez, en su publicación muestra que el método propuesto a partir del uso de *Network Analyst* permitió integrar múltiples aspectos como el número de usuarios en la ruta, velocidad, tiempos de recorrido, distancias, así con esta integración se facilitó la comparación de múltiples criterios para evaluar la eficiencia de la ruta obtenida en relación a la ruta de transporte existente.

En el trabajo realizado por (Lopez, 2016) se propone la generación de un modelo de rutas óptimas para la instalación de ciclo carriles en la ciudad de Barranquilla, con el propósito de generar una herramienta para la gestión de la movilidad y, que además, estimule el uso de la bicicleta como un medio transporte sostenible, se destaca como una solución a la movilidad y a descongestionar el uso de los transportes convencionales como es el transporte público.

En el trabajo desarrollado por (Guevara Orozco, 2017) cuyo objetivo es aplicar los SIG para la actualización y funcionamiento de los sistemas de transporte público del cantón Riobamba, propone la construcción de una base de datos que puede ser actualizada de manera organizada para proveer un análisis espacial y de esta manera tomar decisiones por parte de las entidades encargadas, adicional se realizó la interpretación de diferentes rutas lo que permitió establecer: funcionamiento, tiempos, entornos, longitud de recorridos, y en consecuencia, generar parámetros que permitan desarrollar un análisis para mejorar el transporte público de esta ciudad.

En el artículo realizado por (Castellanos Barrero, 2010) se muestra como los SIG ofrecen variados métodos y herramientas que favorecen la reducción de tiempos de análisis, la adquisición de datos y en especial la toma de decisiones en la planeación de los territorios; también se resalta la importancia que estos toman a la hora de agilizar procesos de análisis y construcción del territorio para toma de decisiones a tiempo.

En la publicación realizada por (Aliseda et al., 2003) se destaca la importancia de los SIG como herramienta para el cálculo de los niveles de accesibilidad y la elaboración de la cartográfica de los productos finales. El objetivo principal de este trabajo es la construcción de un modelo de transporte en el territorio de Extremadura (España), a partir de la creación de un SIG, con el fin de inventariar, analizar y planificar las infraestructuras en el territorio desde lo económico y social tomando como indicadores núcleos más poblados de esta ciudad.

La publicación realizada por (Ruiz Pérez et al., 2003) cuyo objetivo final fue el diseño y la implementación de un aplicativo orientado al personal técnico de la Consejería de Educación del Gobierno para facilitar las tareas de gestión de rutas escolares.

En el artículo publicado por (Cantergiani et al., 2008) se visualiza el esfuerzo por definir indicadores para el diagnóstico de la sostenibilidad urbana con el fin de cuantificar, dado esto los SIG ayudan a valorar la sostenibilidad del desarrollo territorial, se busca el diseño de indicadores especialmente en la elaboración con herramientas SIG.

El documento descrito por (Zeng et al., 2010) presenta un modelo de datos de tránsito basado en la tecnología de sistemas de información geográfica (GIS), que utiliza redes de nodo de arco y gestiona los datos fundamentales con funciones de punto, enlace, polígono y registro. En este modelo, se genera y mantiene una red de transporte de manera dinámica, por lo tanto, admite funciones de planificación, construcción, gestión, operación y optimización para las instalaciones y rutas de tránsito.

Lo planteado por (Asmael, 2016), en el estudio de caso desarrollado en la ciudad de Bagdad busca analizar el transporte público existente utilizando SIG y recomendando rutas de tránsito óptimas para cumplir con los requisitos de la futura demanda de viajes. Los objetivos principales son explorar las características de viaje existentes en el área de estudio, desarrollar una matriz de viaje origen-destino entre la terminal de autobuses utilizando el software Trans CAD, para sugerir escenarios futuros utilizando datos anuales.

La investigación realizada por (Farooq et al., 2018) tiene por objetivo generar un modelo de transporte entre Beijing y XiongAn, para aumentar la conexión y la conectividad, reducir el tiempo de viaje y aumentar la capacidad de transferencia entre los dos centros (Beijing-XiongAn). Se realizó el análisis de la red de transporte existente entre estas ciudades y se propuso una red que logre manejar la demanda futura. Esta investigación se desarrolló en dos etapas, en la primera se indago la variedad de opciones utilizando

el sistema de información geográfica (SIG), donde se plantearon dos opciones una línea de ferrocarril interurbano existente, una nueva línea de ferrocarril de alta velocidad y opciones de autopistas. En la segunda etapa se evaluaron estas opciones mediante múltiples criterios, utilizando el proceso de jerarquía analítica. El análisis SIG y multicriterio que sugirió como mejor opción el construir una nueva línea de ferrocarril de alta velocidad.

Se encuentran algunos antecedentes que, aunque no están relacionados con los sistemas de información geográfica es importante resaltar sus investigaciones y aportes al tema de la operatividad del transporte público. La investigación realizada por (Peña Morales, 2017) en la cual propone un algoritmo evolutivo multiobjetivo para la creación de horarios utilizando vehículos de diferentes tipos en la prestación de servicio del transporte público, en el contexto de ciudades inteligentes. El enfoque de optimización multiobjetivo, establece dos objetivos, como lo son reducir los costos de operación y minimizar la pérdida de la calidad de servicio.

Ahora bien, en la tesis desarrollada por (Mauttone, 2005), se estudia el problema de optimización de recorridos y frecuencias en sistemas de transporte público que consiste en hallar un conjunto de recorridos y valores de frecuencias, de forma que, se logre optimizar los objetivos de los usuarios y los operadores, esto con base en la información geográfica y de demanda con un enfoque de optimización combinatoria.

En el artículo publicado por (Parras & Ramírez, 2016) se destaca la importancia de los sistemas de información geográfica, ya que son idóneos para analizar la forma en que se mide la distancia, el modo en que se realizan los análisis de accesibilidad y conectividad espacialmente, el resultado de todos estos datos nos muestra que las

aplicaciones SIG, son apropiadas para la gestión del transporte, el mantenimiento y conservación de las infraestructuras.

En el XII Congreso de Ingeniería del Transporte (Ojeda Toche & Tovar Plata, 2016) destacan la importancia del análisis espacial, puesto que esta es una herramienta que permite manipular los datos espaciales, el análisis espacial y la actual evolución de los sistemas de información geográfica, permitiendo también valorar todos los escenarios geográficos y, en consecuencia, convertirse en apoyo para la toma de decisiones de diferentes procesos y actividades que ocurren en cualquier territorio.

En el trabajo desarrollado por (Cerquera Escobar, 2011) muestra la importancia de la geografía del transporte que tiene como objetivo el estudio espacial de los transportes en cuanto a los desplazamientos de personas, esta geografía del transporte se puede definir como el conocimiento de los sistemas de transporte que hacen frente a las necesidades de desplazamiento de personas, con esto podemos afirmar que el máximo objetivo de la geografía del transporte es superar el espacio que existe entre un origen y un destino para lograr trasladar personas.

Por otra parte, en la tesis realizada por (Villanueva Zamora, 2017) se destaca que para la realización de un análisis espacial es necesario tener en cuenta los orígenes y destinos de los viajes efectuados en una ciudad, cuáles son los modos de viaje y que las herramientas para obtener un mejor análisis son aquellas que mezclan las distancias más cercanas con información estadística.

En el artículo realizado por (Espindola Lara et al., 2019) describen los sistemas de información geográfica, se han centrado esencialmente en la movilidad de las personas y en la actualidad la problemática que tienen las entidades gubernamentales es la de

impulsar el traslado de los ciudadanos, optimizando las rutas, mejorando los tiempos de frecuencia y garantizando la calidad del transporte público.

En la publicación realizada por (Bouzas, 2014) se destaca la importancia que tienen los sistemas de información como herramienta para el desarrollo de herramientas útiles y versátiles para entender, ordenar y gestionar cualquier territorio, ya que los SIG por su capacidad de gestión espacial, son el sistema indicado para prestar ayuda a los sistemas de transportes, porque con estos se tendría la opción de controlar los parámetros de diferentes variables, como por ejemplo el tráfico, las infraestructuras y el mantenimiento entre otros.

En el trabajo desarrollado por (Granja Alencastro & Álvarez Ochoa, 2018) determinan para la ciudad de Quito una forma de interactuar con los diferentes actores del sistema de transporte, para optimizar recursos y una nueva distribución espacial de paraderos, entre otras alternativas, todo esto con las herramientas metodológicas y analíticas de los sistemas de información geográfica, aplicados a la cartografía.

De igual manera, como señala (Geoinnova, 2016) se representa la utilización de los sistemas de información geográfica para el análisis espacial en redes de transporte, como instrumento de consulta sobre la red vial, teniendo en cuenta los sentidos, flujos, dimensiones, todo esto con el fin de calcular las propiedades de la red, la conectividad, diámetro y una selección de ruta óptima.

En el artículo realizado por (Vizcaíno Monroy & Plascencia Bernal, 2012) describen la importancia de los sistemas de información para la toma de decisiones sobre la movilidad, dado que los SIG permiten gestionar y analizar la información espacial y

gracias a esto se obtiene como resultado disponer rápidamente de la información para resolver los problemas.

Según el estudio de (Salado Garcia et al., 2006) se hace referencia a la utilidad de las distintas herramientas de análisis incorporadas en los sistemas de información geográfica, para la elaboración de un sistema que ayude con la red de transporte público en una ciudad, ya que el SIG permite estudiar el problema de la accesibilidad espacial de una red, también facilitó la cartografía de las diferencias, en el acceso a la red entre distintas zonas de la ciudad, todo esto contribuye a trazar rutas optimas, a diseñar y evaluar distintos escenarios de oferta y demanda de transporte, ambas georreferenciadas.

En el trabajo argumentado por (Backhoff Pohls & Vázquez Paulino, 2002) cuyo objetivo central es diseñar, estructurar e implantar un sistema informático eficiente, versátil y sencillo para el registro, análisis y representación de la información geográfica y estadística asociada al sistema de transporte mexicano; de tal forma que se diseñara un mecanismo de acceso, consulta y representación de la información, todo esto con el fin de sistematizar el registro y la actualización de la información georreferenciada relativa al transporte y su infraestructura.

El artículo realizado por (Delgado Rivero et al., 2016) muestra como los sistemas de información geográficos SIG, se conectan con las bases de datos para diversas aplicaciones, el principal objetivo de este artículo es describir las utilidades que tiene SIGRed para el análisis de datos georreferenciados en problemas donde sea necesario hacer uso de los métodos, a su vez, describe como SIGRed está desarrollado con

tecnologías libres y de código abierto, implementado en un ambiente web que lo hace multiplataforma e independiente de la tecnología de los usuarios que lo utilicen.

Ahora bien, (Martínez et al., 2018) menciona en su texto, un proyecto ejecutado por la universidad de concepción, su finalidad es recopilar, generar, procesar y publicar información territorial e indicadores del sistema de transporte, esto se desarrolló en una plataforma SAGI y ESTU (información geográfica base e indicadores espaciales procesados en ambiente SIG-Server) y un componente WEB, que permite la gestión y publicación de contenido espacial. El resultado de este proyecto es la elaboración de visores de mapas con capas de información georreferenciada de transporte y usos de suelo, además de visores de análisis espacial para la realización de filtros y geoprosesos. En el artículo que (Moya Fernández, 2017) ejecutó, se destacan la planificación y administración que requieren los activos del transporte como lo son el uso de herramientas tecnológicas que faciliten el trabajo y garanticen la optimización del uso de recursos, así como una mayor capacidad de respuesta. Un Sistema de Información Geográfica (SIG) requiere un alto nivel de calidad, precisión y detalle en los datos, así como de un buen equipamiento en cuanto a hardware y software.

Por otra parte, en el documento realizado por (Imasgal, 2020) se destaca los SIG y la capacidad que tiene en la gestión espacial, son sistemas indicados y muy aptos para prestar ayuda a los sistemas de transporte, ya que estos nos permiten controlar las diferentes variables como lo puede ser el mantenimiento y conservación de infraestructuras, tráfico, sistemas de navegación para vehículos, entre otros. La gestión del transporte público es uno de los usos potenciales de los Sistemas de Información

geográfica, permitiendo la gestión de las distintas rutas, optimización de distancias y tiempos de ruta.

En el proyecto realizado por (Calvin Quintana, 2015) describe un sistema de información georreferenciado en este caso opera como base de datos geográficos, asociado a los objetos que se encuentran en mapa digital, el objetivo es dar una respuesta pronta a los usuarios de las consultas realizadas, analizando y relacionando la información con una localización geográfica, los cuales están conectados a mapas con base de datos. El propósito del proyecto es generar una aplicación web que cumpla la función de planificador de rutas en una red de transporte público.

Asimismo, el artículo realizado por (J. A. Gutiérrez et al., 2012) se destaca la importancia de los modelos de transporte a la hora de predecir situaciones futuras y mejorar en la toma de decisiones en la movilidad de una ciudad, en el estudio que se realizó se ofreció una metodología que sirva para diseñar modelos de transporte que ayuden a gestionar la información obtenida en los planes de movilidad en la ciudad de Mérida.

Según lo expuesto en documento de (Juan David Guarín González, Juan Manuel Olarte Ortiz) diagnosticaron, diseñaron e implementaron una ruta óptima para la distribución de productos lácteos en el área urbana de Fusagasugá, gracias a la identificación del problema se logró minimizar los tiempos y las distancias de entrega y gracias a esto se redujeron costos.

En el texto desarrollado por (Guarín González & Olarte Ortiz, 2015) diagnosticaron, diseñaron e implementaron una ruta óptima para la distribución de productos lácteos en el área urbana de Fusagasugá, gracias a la identificación del problema se logró minimizar los tiempos y las distancias de entrega y gracias a esto se redujeron costos.

Finalmente, en el trabajo de investigación interpretado por (Tonya Tapia, 2015) muestra la importancia que tienen los sistemas de información geográfica, tanto en la parte alfanumérica como en la información gráfica, ya que con esta información permite diseñar bases de datos espaciales, toda esta observación da respuesta a una consulta realizada por un usuario, dentro de un marco web publicado en internet, como se muestra en el desarrollo del proyecto.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Implementar un análisis espacial para la reestructuración de rutas de transporte público rural existentes en el municipio de Chía, con el fin de mejorar la calidad de este servicio.

3.2. Objetivos específicos

1. Identificar las variables que se deben tener en cuenta para el análisis espacial de rutas de transporte público.
2. Implementar un análisis espacial a partir de las variables identificadas para la estructuración de nuevas rutas.
3. Estructurar las rutas de servicio de transporte público de acuerdo al análisis espacial realizado.
4. Analizar los resultados obtenidos para seleccionar las rutas óptimas que mejoren el sistema.

4. Referente Contextual

El municipio de Chía está ubicado en el departamento de Cundinamarca, al norte de la ciudad de Bogotá, hace parte de la provincia de sabana centro, cuenta con dos vías de acceso principal a la capital, una por la autopista norte, circulando por la avenida Pradilla y otra por el municipio de Cota, tiene un área total de 7980,65 hectáreas, discriminadas en una área de 620,80 hectáreas en la zona urbana y 7359.85 hectáreas en la zona rural, predominan las pendientes planas en el terreno, se encuentran dos reservas naturales ubicadas en los cerros orientales y otra en los cerros occidentales donde, a su vez, se encuentra un resguardo indígena. Durante el transcurso del año la temperatura generalmente varía de 7 °C a 19 °C. (Municipio de Chía, 2020) Según datos del censo DANE 2018, la población del municipio es de 129.613 habitantes distribuidas en la zona urbana y rural, la mayoría de la población se encuentra ubicada en el sector urbano alcanzando un 79 % y en la zona rural se encuentra el restante 21 % de la población del municipio, cabe resaltar que en la zona rural existen centros poblados y zonas de expansión donde se aglomera mayor número de personas.



Ilustración 1. Localización del Municipio de Chía dentro del Departamento de Cundinamarca. Fuente: (Municipio de Chía, 2020).

Este municipio está conformado por ocho veredas y por tres sectores, un sector urbano principal y dos sectores de zonas de expansión urbana. Según datos oficiales del departamento es uno de los municipios de Colombia con mayor nivel de desarrollo humano y en el departamento es el municipio con el menor porcentaje de población con Necesidades Básicas Insatisfechas (Municipio de Chía, 2020), en las últimas décadas se han realizado muchos desarrollos urbanísticos en los que se destaca principalmente la construcción de residencias y conjuntos residenciales para estratos medios y altos.

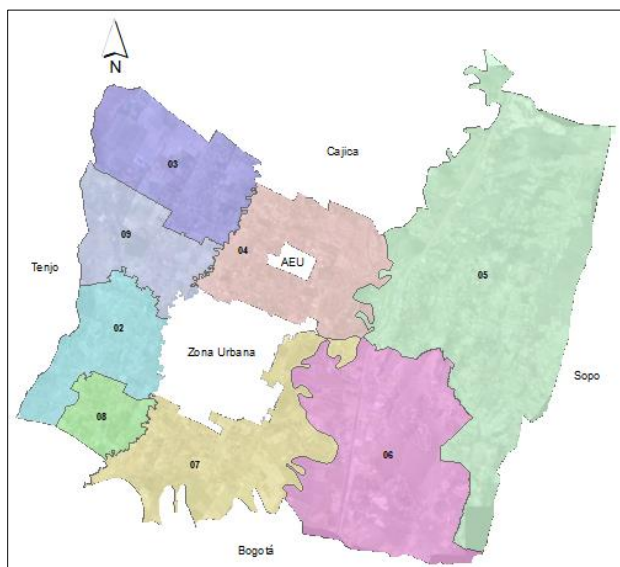


Ilustración 2. Municipio de Chía, Localización de las Veredas y Zona Urbana. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)).

Actualmente, existen en el municipio cuatro zonas de parqueo o terminales terrestres para transporte de uso público, están distribuidos de la siguiente manera: un terminal es destinado para la ubicación de todos los vehículos que se movilizan hacia la ciudad de Bogotá (1), por otro lado, está adecuado otro espacio de parqueo para el transporte que se moviliza hacia los municipios de Cajicá y Cota (interdepartamentales) (2), también existe un parqueadero habilitado para los vehículos de menor capacidad transportadora

como son los colectivos (9 pasajeros) que cubren rutas urbanas hacia la avenida Pradilla y hasta el CC Centro Chía (3), por último, existe un terminal urbano donde se concentran todos los vehículos que prestan servicio de transporte a todas las veredas del municipio y a la zona urbana, denominado terminal urbano (4).



Ilustración 3. Localización de los terminales autorizados en el municipio de Chía para Transporte Público (Elaboración Propia).

Según la reglamentación del Acuerdo del POT (Acuerdo 100 POT, 2016) el sistema vial del municipio, es el conjunto de vías y elementos complementarios que garantizan la conexión funcional de los diferentes sectores del municipio, también su conectividad con la región, las vías están determinadas por la jerarquía y la conexión entre estas, las cuales son: vías arteriales, vías zonales, vías locales, vías peatonales públicas, servidumbre y ciclo rutas, sus características se evidencian en los perfiles viales definidos. En este documento se plantea implementar perfiles viales en la malla vial del municipio, su mayoría será la construcción de bici carriles, estas medidas mejoran la situación de la movilidad del municipio dado que los habitantes hacen gran uso de este medio de transporte en su cotidianidad. De igual manera, se encuentran definidas las

condiciones mínimas de los perfiles viales en la resolución 3177, los cuales podrían ser ajustados dependiendo del desarrollo urbanístico propuesto. (Resolución 3177, 2017).

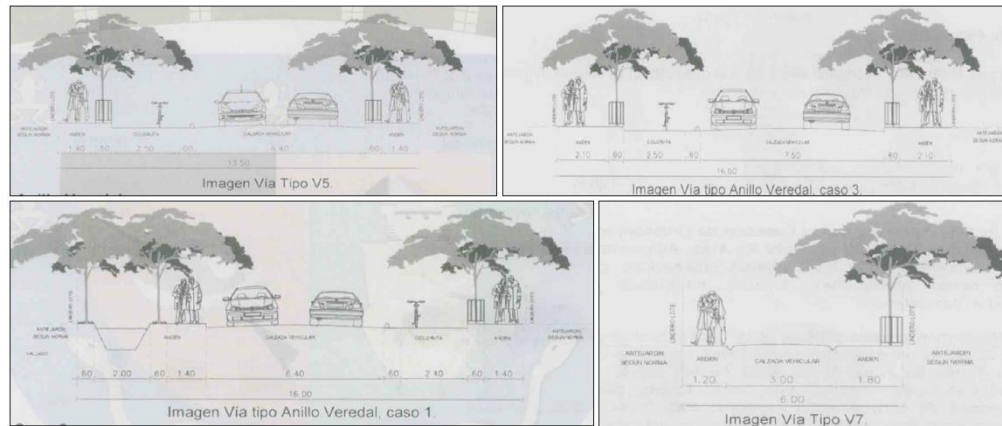


Ilustración 4. Perfiles viales definidos en la Resolución 3177. Fuente: (Resolución 3177, 2017).

El servicio de transporte público rural dentro del municipio es prestado por tres empresas de transporte que tienen aproximadamente 220 vehículos con diferentes capacidades transportadoras, las cuales tienen rutas ejecutadas por cada empresa y de manera compartida, la mayoría de vehículos que cumplen con las rutas urbanas se concentran en un mismo terminal a excepción de los colectivos con capacidad de 8 pasajeros, los cuales tienen un paradero adicional, el hecho que la mayor cantidad de automotores se concentren en el mismo centro de despacho genera congestión vehicular en los alrededores de este paradero.

Las empresas prestadoras del servicio de transporte rural tienen cobertura en la totalidad del municipio, actualmente circulan en el municipio 20 rutas (Alcaldía Municipal de Chía, 2017), estas se caracterizan por tener un mismo inicio y fin, a su vez la mayoría cubren los recorridos por las diferentes veredas. El servicio de transporte es prestado por vehículos tipo Microbús con capacidad de transportar a 19 pasajeros, también camionetas tipo Vans con capacidad de 8 pasajeros.

5. Referente Normativo y legal

En este marco normativo y legal se definen leyes y decretos a nivel nacional y local que establecen los lineamientos, formas y condiciones para la prestación de servicios de transporte público de pasajeros, teniendo en cuenta la seguridad y protección de los usuarios.

Ley 336 de 1996, “Por la cual se adopta el estatuto nacional de transporte y se dictan Disposiciones generales para los modos de transporte”.

Artículo 6 de la ley 336 de 1996, define el transporte público como: “conjunto organizado de operaciones tendientes a ejecutar el traslado de personas o cosas, separada o conjuntamente, de un lugar a otro, utilizando uno o varios modos, de conformidad con las autorizaciones expedidas por las autoridades competentes basadas en los reglamentos del Gobierno Nacional”. (Ley 336, 1996).

Artículo 9 de la ley 336 de 1996, establece que: “el servicio público de transporte dentro del país tiene un alcance nacional y se prestará por empresas, personas naturales o jurídicas, legalmente constituidas de acuerdo con las disposiciones colombianas y debidamente habilitadas por la autoridad de transporte competente. La prestación del servicio público de transporte internacional, a más de las normas nacionales aplicables para el caso, se regirá de conformidad con los tratados, convenios, acuerdos y prácticas, celebrados o acogidos por el país para tal efecto”. (Ley 336, 1996).

Artículo 31 de la ley 336 de 1996, precisa que para la prestación del servicio “los equipos destinados al servicio público de transporte en cualquier modo, deberán cumplir con las condiciones de peso, dimensiones, capacidad, comodidad, de control gráfico o electrónico de velocidad máxima, de control a la contaminación del medio ambiente, y

otras especificaciones técnicas, de acuerdo con lo que se señale en el reglamento respectivo, para efectos de la homologación correspondiente. Es obligación de las autoridades de tránsito estipular, desarrollar y reglamentar la obligación de la revisión técnico mecánica vehicular en transporte público y privado y con tal objetivo adoptar una política nacional de centros de diagnóstico automotor”. (Ley 336, 1996).

Artículo 34 de la ley 336 de 1996, establece que: “las empresas de transporte público están obligadas a vigilar y constatar que los conductores de sus equipos cuenten con la licencia de conducción vigente y apropiada para el servicio, así como su afiliación al sistema de seguridad social según lo prevean las disposiciones legales vigentes sobre la materia. La violación de lo dispuesto en este artículo acarreará las sanciones correspondientes”. (Ley 336, 1996).

Ley 1083 de 2006, “Por medio de la cual se establecen algunas normas sobre planeación urbana sostenible y se dictan otras disposiciones. Movilidad sostenible en Distritos y Municipios con Planes de Ordenamiento Territorial”.

Artículo 2 de la ley 1083 de 2006, establece que: “los alcaldes de municipios y distritos deberán adoptar mediante Decreto los Planes de Movilidad. Estos planes de movilidad deberán contener: 1) Identificación de los componentes relacionados con la movilidad, 2) Articular los sistemas de movilidad con la estructura urbana, diseñar una red peatonal y de ciclo rutas que complementen el sistema de transporte. 3) Reorganizar las rutas de transporte público y tráfico sobre ejes viales que permitan incrementar la movilidad y bajar los niveles de contaminación. 4) Crear zonas sin tráfico vehicular, las cuales serán áreas del territorio distrital o municipal, a las cuales únicamente podrán acceder quienes se desplacen a pie, en bicicleta, o en otros medios no contaminantes.

5) Crear zonas de emisiones bajas, a las cuales únicamente podrán acceder quienes se desplacen a pie, en bicicleta o en otro medio no contaminante. 6) Incorporar un Plan Maestro de Parqueaderos, el cual deberá constituirse en una herramienta adicional para fomentar los desplazamientos en modos alternativos de transporte”. (Ley 1083, 2006).

Decreto 170 de 2001, tiene como objeto “reglamentar la habilitación de las empresas de Transporte Público Colectivo Terrestre Automotor de Pasajeros del radio de acción Metropolitano, Distrital y/o Municipal y la prestación por parte de estas, de un servicio eficiente, seguro, oportuno y económico, bajo los criterios básicos de cumplimiento de los principios rectores del transporte, como el de la libre competencia y el de la iniciativa privada, a las cuales solamente se aplicarán las restricciones establecidas por la Ley y los Convenios Internacionales”. (Decreto 170, 2001).

Decreto 176 de 2001, cuyo objeto es: “establecer las obligaciones de las empresas de transporte público terrestre automotor y fijar el régimen de sanciones aplicable a cada modalidad de servicio”. (Decreto 176, 2001).

6. Referente teórico

Al abordar un tema como es el análisis de rutas de transporte público, se deben tener en cuenta temas como: movilidad, transporte, transportes públicos, usuarios, análisis de redes, entre otros, a continuación, se hace un recuento de estos temas.

6.1. Movilidad

La movilidad se entiende como la necesidad o el deseo que tienen las personas de moverse de un lugar a otro, de esta manera se ve como un derecho que es necesario preservar y garantizar, sin ningún tipo de discriminación. En este escenario se perciben varios protagonistas que son: los peatones, ciclistas, usuarios de transporte público, usuarios de automóvil particular, motociclistas, entre otros. La buena movilidad debe proveer que todos estos usuarios se sientan satisfechos de usar el medio de transporte que más les favorezca.

Según lo expuesto por (A. Gutiérrez, 2012) es la capacidad de las personas de acceder a los lugares donde se brindan los servicios y oportunidades necesitados, sea esto por mejorar la facilidad de desplazamiento, o bien por mejorar la proximidad. La movilidad es un parámetro o variable cuantitativa que mide la cantidad de desplazamientos de las personas o los bienes en un determinado sistema socioeconómico, y la accesibilidad un parámetro o variable cualitativa que indica la facilidad con que las personas salvan la distancia que los separa de los lugares donde satisfacen sus necesidades o deseos.

La movilidad y el transporte son atributos de la satisfacción de necesidades y deseos de las personas. La movilidad es una práctica social de desplazamiento en el territorio que conjuga deseos y necesidades de desplazamiento y capacidades de satisfacerlos.

A continuación, se hace un recuento de componentes teóricos que están inmersos en el tema de la movilidad, y a su vez, encaminan el desarrollo de este trabajo.

- **Malla vial**

La malla vial se define por las líneas de los ejes viales de una ciudad que en conjunto forman una red, su función primordial es brindar accesibilidad a las personas a predios y sitios públicos.

Se entiende por malla vial el conjunto de vías que constituye la infraestructura necesaria para la movilización de bienes y personas. Está integrada por las vías locales principales y las vías del sistema arterial. La malla vial tiene una organización propia y definida, que comprende subsistemas, que a su vez están compuestos por la malla vial arterial, intermedia y local. (Saldarriaga & Navarro, 2016).

La clasificación de la malla vial (Resolución 3177, 2017) se define por la jerarquía de conexión que realizan las vías, las cuales son:

Vías arteriales: son las vías que realizan conexión a escala urbana e interconectan con sistemas viales rurales y regionales.

Vías Zonales: son las vías que realizan conexión a escala zonal, interconectando sectores.

Vías locales: se definen como las vías que realizan conexiones funcionales a escala local.

Vías peatonales públicas: son aquellas vías que son destinadas únicamente a la circulación peatonal en circuitos zonales.

Servidumbres: se definen como el derecho de vías que permiten la conexión al interior de predios específicos.

Ciclorrutas: hacen parte de la infraestructura pública o áreas destinadas de manera excesiva o compartida para la circulación de bicicletas.

- **Perfiles viales**

También conocidos como secciones transversales de vía que definen la distribución del espacio de circulación dentro de las vías. Los detalles de perfil vial muestran las dimensiones y características de los elementos de un tramo específico sobre la vía. El diseño geométrico de la sección transversal consiste en la descripción de los elementos de la vía, esto permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que la componen. Los perfiles viales deben contener algunos elementos básicos como son: vía, berma, cunetas, taludes y elementos complementarios.

Para el municipio de Chía, según lo dispuesto en la (Resolución 3177, 2017), se definen las condiciones mínimas de los perfiles viales que se indican en el acuerdo POT donde se definen las dimensiones y características de cada uno de los elementos que lo componen, están determinadas por el tipo de vía que depende del ancho de las mismas, a su vez el trazado vial y los perfiles propuestos están sujetos a estudios técnicos que de acuerdo a las necesidades y desarrollos constructivos serán modificados. Para el desarrollo de este proyecto, estos documentos de caracterización de las vías y perfiles viales, serán de vital importancia para tomar decisiones en cuanto a las vías que estén aptas para la circulación de vehículos del servicio público.

- **Transporte**

El transporte es una actividad que consiste en trasladar algo de un lugar a otro, ya sean mercancías o individuos. Existen varios tipos de transporte: el transporte acuático, transporte por carretera, transporte en ferrocarril, transporte aéreo, entre otros. Todos

estos se encaminan a ofrecer menor tiempo de traslado y mayor comodidad al usuario. El desarrollo tecnológico de los medios de transporte está ligado al desarrollo urbano de las ciudades o regiones, también depende del desarrollo de la infraestructura con que se cuenta. El principal interés del transporte se centra en los medios que permiten el desplazamiento.

El transporte terrestre se entiende como el conjunto de medios de transporte que se desplazan sobre la superficie de la tierra. Históricamente, el transporte nace por la necesidad de desplazar a las personas o bienes de manera masiva, a lo largo de mayores distancias o velocidades. Las primeras instancias de transporte se relacionaban con animales que tuvieran suficiente fuerza para llevar en sus lomos a los seres humanos o para tirar de una carreta.

Ahora bien, para llevar a cabo estos desplazamientos se debieron construir vías que permitieran conexión entre diferentes ciudades o lugares. Algunas de las características que tiene el transporte terrestre es el requerimiento de vías condicionadas, túneles y puentes que atraviesen diferentes ciudades o campos, esta infraestructura garantiza el buen desplazamiento de los vehículos, y a su vez el progreso de un país o región. El transporte terrestre incorporado en las ciudades permite la existencia del transporte urbano que está compuesto por: autobuses, automóviles, motocicletas, tranvías, trenes y subterráneos que trasladan a los ciudadanos día a día. (Raffino, 2020).

- **Transporte público**

El transporte público se concibe como la forma de desplazar de un lugar a otro a una gran cantidad de personas que tienen en común el mismo punto de partida y un mismo destino. Estos desplazamientos se realizan en diversos medios como autobuses, taxis,

tranvías, trenes, ferrocarriles suburbanos, ferris, por nombrar algunos. Los usuarios que hacen uso de estos tipos de transporte se deben someter a la regulación vigente que realizan los entes gubernamentales. La diferencia entre el transporte público y privado es que los usuarios del transporte público deben adaptarse y acogerse a los horarios y rutas que ofrezca el operador del servicio. El transporte público contiene unas características propias que son la demanda y la oferta, entendiéndose por demanda los pasajeros que hacen uso del servicio y, por otro lado, la oferta es compuesta por los vehículos, la infraestructura y los operadores o conductores.

▪ **Terminales y Paraderos**

Son los lugares reglamentados por las autoridades locales o regionales, como estacionamiento o punto de partida y llegada de las rutas de transporte. Estos lugares están determinados por los estudios técnicos de la zona y los sistemas de operación de los medios de transporte, para el servicio público se establecen terminales, paraderos, estaciones, puntos de control, entre otros.



*Ilustración 5. Terminal de transporte Urbano Chía.
Fuente: (Google Earth Street View, 2018).*

Para el municipio de Chía los centros de despacho y la reglamentación de los mismos está dada por el (Decreto 40, 2016), en este documento se establecen las condiciones

del centro de despacho de transporte urbano para el municipio. Se dispone del predio 43 ubicado en la manzana 6 de la zona urbana del municipio como instalaciones e infraestructura para este fin, el objetivo principal de este espacio es ofrecer seguridad a los usuarios y brindar a la comunidad un lugar adecuado para que las empresas de transporte de pasajeros garanticen la prestación del servicio de forma continua y obligatoria. Otros objetivos son: mantener óptima su infraestructura, centralizar puntos de despacho para facilitar el control de rutas y horarios, además de contribuir al desarrollo urbano armonizado del municipio.

La finalidad del reglamento establecido es brindar una buena calidad de servicio que estará bajo la vigilancia de la Secretaria Municipal de Movilidad. La planta física del centro de despacho está comprendida por: oficina de administración, taquilla, sala de espera, patio de maniobras, oficina de control de despacho, plataforma de ascenso y descenso de pasajeros y áreas comunes.

De igual forma, se determina el horario de operación que es de 4 a.m. hasta las 11 p.m. y las restricciones para realizar algunas actividades dentro de este lugar como las ventas ambulantes, el tránsito de bicicletas, motos o carros particulares, entre otros. Las condiciones técnicas y reglamentos establecidos para el funcionamiento de este centro de despacho serán útiles para el desarrollo de este proyecto y se buscará mejorar para el aprovechamiento de este espacio, y así reducir la congestión vehicular en este sector. Según información del sistema geográfico del municipio “Sigeo Chía”, (Alcaldía Municipal de Chía, 2017), en el municipio existen 472 paraderos autorizados para el ascenso y descenso de pasajeros, que están debidamente señalizados y autorizados por la Secretaria de Movilidad, tanto en la zona urbana como en la zona rural.

- **Vehículos y empresas prestadores de servicio**

Los vehículos de transporte público que cubren las rutas de operación en el municipio de Chía, se rigen por las normas exigidas por las empresas y por las autoridades de tránsito locales.

Las empresas prestadoras del servicio de transporte urbano y rural están regidas por las autoridades locales que les brinda las condiciones de prestación del servicio, estas son: Autoservicio Chía Ltda., Transportes Valvanera S. y Flota Chía. Por una parte, la empresa Autoservicio Chía Ltda., fue creada en el 1939, con la fundación de socios, funcionando con 30 vehículos tipo taxi que cubrían rutas del centro de Chía a municipios cercanos como Cota y Suba. Está construida legalmente desde el año 1987, con registros ante Cámara y Comercio y las autoridades de tránsito (Auto Servicio Chia Ltda, 2017). La operación de sus vehículos y rutas se centra en el municipio de Chía y municipios de la sabana norte de Bogotá. Actualmente, esta empresa presta servicios de transporte en diferentes modalidades como el servicio de taxi, intermunicipal, especial y urbanos, para lo urbano ofrece servicio colectivo brindando desplazamiento en todo el municipio, cubriendo la totalidad de las rutas.

Por otra parte, la empresa Transportes Valvanera presta servicios relacionados con el transporte intermunicipal, turismo y urbano, para el servicio urbano atienden 5 rutas que operan dentro de la zona urbana y rural del municipio. Finalmente, la empresa Flota Chía Ltda., se dedica a la prestación de servicio de transporte terrestre de pasajeros por carretera a nivel intermunicipal, urbano y especial, opera principalmente en la sabana de Bogotá, está constituida desde el año 1954, actualmente presta el servicio a 4 rutas del transporte público urbano de pasajeros.

Los vehículos que prestan el servicio de transporte cumplen con la capacidad transportadora, emitida por el municipio por medio de las empresas, estos vehículos tienen una capacidad de hasta 19 pasajeros, deben cumplir con las normas técnicas para la prestación del servicio, a saber, son vigilados por la superintendencia de tránsito y transporte por medio de la Secretaria de Movilidad del municipio. Estos vehículos funcionan con tipo de combustible ACPM, tienen tarjeta de operación para transitar por las vías urbanas y rurales del municipio, deben cumplir con la caracterización dispuesta en la ficha técnica para servicio público urbano, que tiene una vida útil de 20 años, pasado este tiempo se realiza la desintegración total de estos vehículos, las empresas y la Secretaria de Movilidad son las encargadas de velar por el cumplimiento de estas características y así dar el aval para la circulación de los vehículos, por lo cual, deben ejercer control y vigilancia sobre el estado y condiciones de funcionamiento de los mismos.



*Ilustración 6. Vehículos prestadores de servicio público urbano.
Fuente: (Auto Servicio Chía Ltda, 2017).*

- **Rutas Actuales**

Las rutas de transporte público se definen como los recorridos por donde deben circular los vehículos autorizados para esta actividad. Las rutas se establecen por medio de las solicitudes de la comunidad del servicio de transporte.

Para el municipio de Chía las rutas urbanas y rurales han sido definidas según solicitud de la comunidad por medio de las Juntas de Acción Comunal, adicionalmente el estudio técnico y capacidad de las vías de circulación, son legalizadas mediante resolución emitida por la autoridad local competente. Las rutas son prestadas por las empresas de servicios públicos destinadas y autorizadas para este fin, las empresas acogiéndose a la resolución y con estudios de movilidad determinan los horarios y tiempos de recorrido de las mismas, las tarifas del servicio son definidas por el alcalde municipal de acuerdo a los estudios previos del sector.

Actualmente, las rutas que prestan el servicio, tienen punto de inicio y final al terminal de transporte urbano, donde se realiza el despacho y control de llegada y salida de los vehículos. La distancia de recorrido de las rutas varía dependiendo el lugar de destino, la ruta que tiene menor distancia recorre 5 km en el trayecto de ida y regreso, por otro lado, la ruta que tiene mayor distancia de recorrido transita 26,9 km, tomando para ambas el mismo punto de inicio y fin.

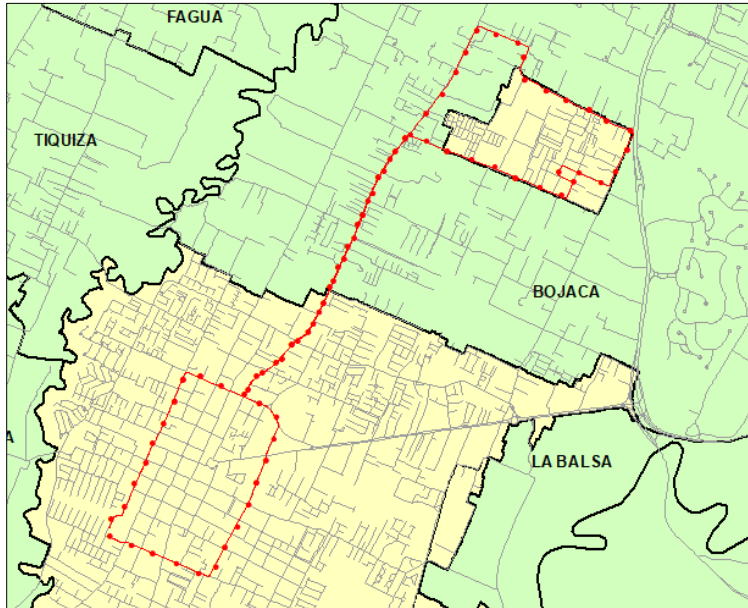


Ilustración 7. Ruta a la Vereda Bojacá (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)).

6.2. Puntos de interés

Al abordar este tema se hace referencia a los lugares geográficos donde se concentra la mayor cantidad de usuarios que requieren el servicio de transporte público de pasajeros. Los usuarios se pueden caracterizar de acuerdo a las necesidades que desean satisfacer, por ejemplo: ir a su lugar de trabajo, ir al lugar de estudio o ir a un centro de salud, a continuación, se hace una descripción de estos lugares.

▪ Centros poblados

Según concepto del (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2013), se define como “la localización geográfica de núcleos o asentamientos de población, se determina cuando hay concentración mínima de 20 viviendas contiguas, vecinas o adosadas entre sí, ubicadas en área municipal o no municipal como corregimientos, dicha concentración de viviendas presentan características como la delimitación de vías vehiculares y peatonales”.

En el municipio de Chía los centros poblados están localizados dentro de la zona rural del municipio, se caracterizan por tener viviendas de estrato 2, 3 y 4, las poblaciones residentes en estos centros son en su mayoría, empleados, personas de clase media. El área correspondiente a centro poblados en el municipio es de aproximadamente 100,5 Ha, esta área está distribuida en las veredas del municipio, de esta manera, vereda 2 – Fonquetá con el 27 %; vereda 3 - Fagua tiene el 8 %; vereda 4 – Bojacá tiene el 4 %; vereda 7 – La Balsa tiene el 10 %; vereda 8 – Cerca de Piedra tiene el 13 % y por último la vereda 9 – Tiquiza tiene el 38 %. Las veredas restantes del municipio no tienen centros poblados definidos, estas son la vereda 5 - Yerbabuena y vereda 6 - Fusca, estas se encuentran ubicadas en la parte oriental del municipio, se caracterizan por tener zonas de desarrollo de vivienda campestre y condominios en su mayoría en estrados 4, 5 y 6, también se resalta que, estas veredas están conformadas por la reserva natural de los cerros orientales, y a su vez por la autopista norte, por lo que la vivienda de centros poblados no es característica. También es importante resaltar que dentro del municipio en la vereda 2 existe un resguardo indígena que es reconocido por el Ministerio del Interior, donde hay gran cantidad de usuarios del sistema de transporte, tiene una extensión de 195,68 Ha y está localizado en la zona occidental del municipio.

En el análisis de rutas de transporte, estos centros poblados serán tomados como referencia, puesto que hay gran cantidad de usuarios concentrados en estas zonas del municipio.

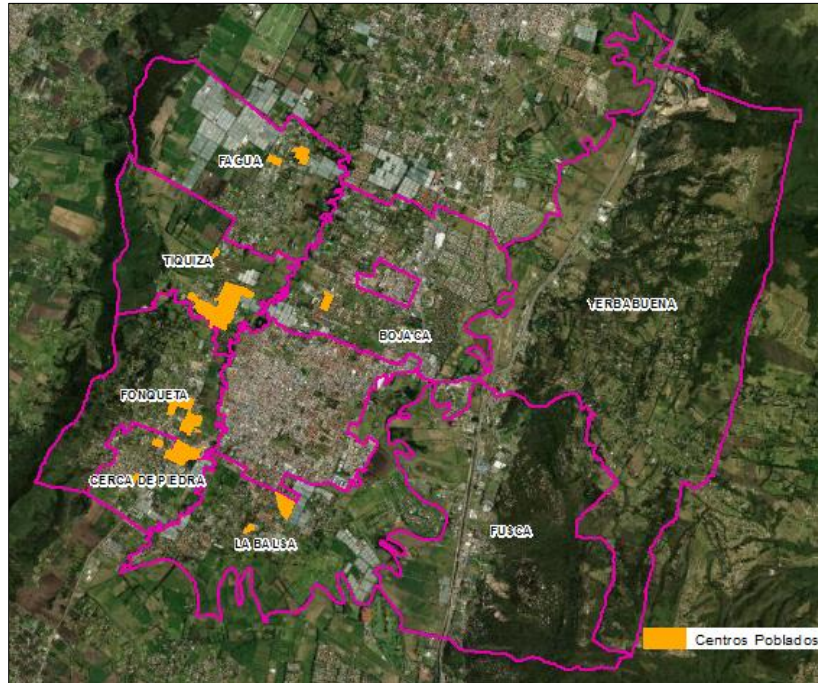


Ilustración 8. Localización de Centros Poblados en el municipio de Chía. (Elaboración Propia. Fuente: (Acuerdo 100 POT, 2016)).

▪ Comercio

Se entiende como los establecimientos donde se venden o compran productos. También es tomado como el intercambio de bienes y servicios entre personas o entidades.

En una actividad de intercambio con propósitos de lucro, puesto que se realiza habitualmente por personas o instituciones llamadas comerciantes. El trueque consistía en el intercambio de bienes o propiedades, es decir, se adquiere la propiedad de un bien y entrega otro en pago de su valor o la mitad del valor del bien adquirido se paga mediante la entrega de otro bien o en efectivo. La moneda o dinero, es un medio acordado en una comunidad para el intercambio de mercancías y bienes, a su vez el dinero no solo se usa para el intercambio, también es una unidad de cuenta y una herramienta para almacenar valor, históricamente ha habido diferentes tipos de dinero, por ejemplo: dientes de ballenas, cacao, conchas marinas, sin embargo, el más común

y extendido en el mundo ha sido el oro. El comercio se clasifica de acuerdo a sus intereses, existen varios tipos de comercio como son: comercio interior, exterior, terrestre, marítimo, al por mayor, al por menor, por cuenta propia, en comisión o por cuenta ajena. (EcuRed, 2020).

En el municipio de Chía el comercio que se desarrolla comúnmente es el comercio al por menor, la mayoría de establecimientos se dedican a la venta de artículos de primera necesidad como alimentos, vestuario o zapatos. La mayor parte de estos establecimientos se ubican en la zona urbana del municipio, que se denomina zona histórica y son las manzanas contiguas a la plaza principal del municipio. A su vez se destaca que el municipio cuenta con cuatro grandes centros comerciales ubicados dos en la vereda Bojacá y dos en la zona urbana, estos centros comerciales aglomeran cantidad considerable de personas en especial en épocas festivas, estos centros comerciales son: Centro Chía Centro Comercial, Centro Comercial Fontanar, Centro Comercial Plaza Mayor y Centro Comercial Sabana Norte, aunque en el municipio existen más centros comerciales, estos se destacan por la capacidad de albergar mayor cantidad de personas y ofrecer más productos y servicios a las mismas.

▪ **Centros Educativos**

Los centros educativos se definen como lugares ubicados geográficamente donde se reúnen personas con un fin común, se caracterizan por impartir algún tipo de enseñanza en cualquier nivel educativo.

En el municipio de Chía se encuentran diferentes centros educativos, existen jardines infantiles, colegios, institutos de educación técnica, educación no formal y universidades. Existen 21 instituciones educativas departamentales de carácter público, que ofrecen

niveles de primaria y bachillerato, distribuidas tanto en la zona urbana como rural del municipio, adicionalmente, se cuenta con una sede de la Universidad de Cundinamarca, también se ubica el campus de la Universidad de la Sabana, como uno de los más representativos, que concentra gran número de personas tanto de la zona como de la ciudad de Bogotá, y los municipios aledaños. El municipio de Chía cuenta con, aproximadamente, 73 instituciones educativas para básica y bachillerato de carácter privado, lo que genera gran movilidad de estudiantes y personal para estas instituciones. También existen 12 centros educativos de nivel de educación superior, técnica y tecnológica, que, en su mayoría, ofrecen enseñanza para el trabajo técnico en diferentes áreas.

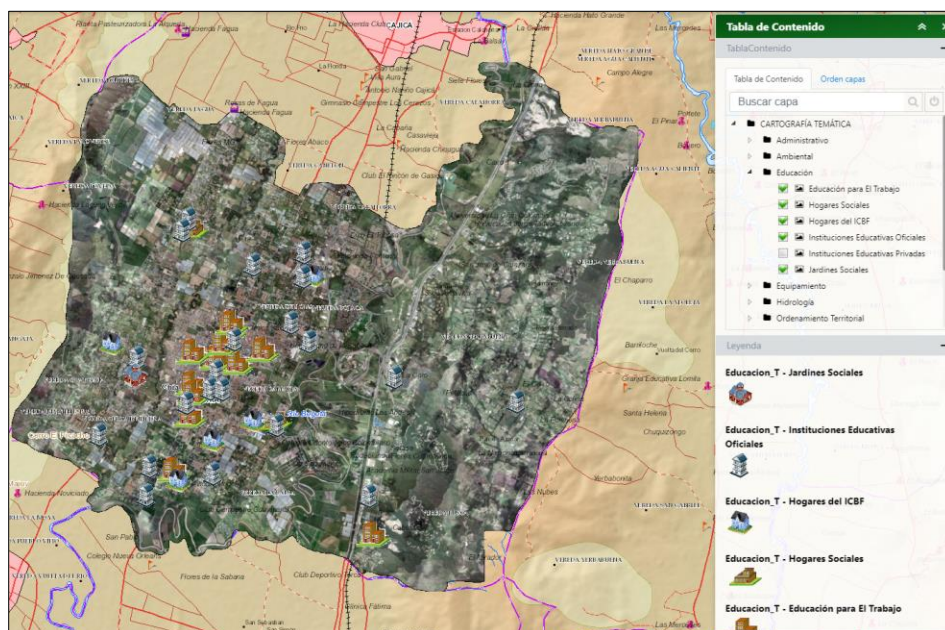


Ilustración 9. Localización de Centros Educativos en el municipio de Chía. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

▪ Centros de salud, cultura y esparcimiento.

Los centros de salud se definen como lugares donde se proveen servicios médicos a los ciudadanos, estos pueden ser hospitales, clínicas y centros de salud especializada.

Estos centros se caracterizan por ser de orden privado o público, para el caso del municipio de Chía, se encuentra un hospital de carácter público ESE Hospital san Antonio de Chía, de igual forma, hay 18 centros de atención médica de carácter privado, por ejemplo: Clínica Chía S.A., Clínica Universitaria de la Sabana, Clinisanitas Chía, Coomeva, Compensar, Colmedica, Salud Vida, Ecoopsos, Medimas, Clínica Meredy, entre otras. Asimismo, en el municipio se encuentran varios consultorios de médicos de salud especializada como son las clínicas odontológicas y estéticas; dichos centros médicos en su mayoría se concentran en la zona urbana del municipio, algunos a las afueras de las vías principales como la Av. Pradilla y la autopista norte.

Por otro lado, los centros culturales se definen como los espacios físicos que se destinan para la difusión de expresiones artísticas y educativas, como son las bibliotecas, teatros y centros de enseñanza de artes en cualquier ámbito. En el municipio de Chía estos lugares se ubican en la zona urbana del municipio, se destacan la Biblioteca y Auditorio municipal HOQABIGA, la Casa de la Cultura, estos son de carácter público, por lo que la población puede acceder a estos centros culturales sin restricciones, acogiéndose a la normativa vigente para su uso.

A saber, los centros de esparcimientos se dividen en centros deportivos y de entretenimiento; el municipio cuenta con unidades deportivas ubicadas tanto en la zona urbana como rural. En la zona urbana se resalta la Villa Olímpica o Estadio Municipal, también el Coliseo de la Luna, y la Concha Acústica, estos tienen una ubicación contigua uno al otro, por lo que los desplazamientos en estos lugares se hacen principalmente caminando. Existen unidades deportivas en las diferentes zonas del municipio para garantizar el acceso al deporte de toda la población. Se tiene que, en la vereda Bojacá

donde se encuentra un sector urbano o corregimiento adicional al centro de municipio, se localiza una unidad deportiva, producto de las sesiones que se obtienen por la construcción y desarrollo urbanístico de este sector. Las demás veredas y zonas del municipio cuentan en su mayoría con unidades deportivas que no aglomeran mayor cantidad de personas, son centros deportivos que están en desarrollo urbanístico o construcción actualmente.

6.3. Tecnologías de los Sistemas de la Información Geográfica - TIG

Las Tecnologías de la información geográfica nos permiten la representación de datos que estén ubicados en cualquier lugar del planeta, de esta forma poder analizar diferentes parámetros, fenómenos o acontecimientos en el territorio y la relación de los mismos. Las TIG han tenido gran evolución, gracias al desarrollo de Internet muchos proyectos tienen por fundamento principal poder compartir recursos como servidores de mapas, bases de datos distribuidas y tecnologías que permiten la interoperabilidad entre sistemas. (Carol & Alberto, 2009).

Las TIG, en concreto los sistemas de información geográfica, la teledetección, la cartográfica digital, los GPS y la Fotogrametría, constituyen una nueva ciencia en creciente expansión, debido a su variabilidad en su aplicación con distintos ámbitos como el medio ambiente, los recursos naturales, la demografía, la gestión de servicios públicos, el urbanismo, el ordenamiento del territorio, la planificación del transporte, el geomarketing, análisis de redes, entre otros. (Nieto Masot, 2016).

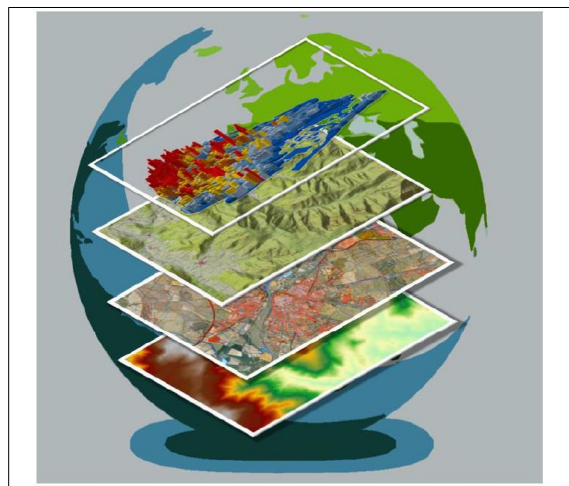


Ilustración 10. Tecnologías de la Información Geográfica – TIG. Fuente: (Nieto Masot, 2016).

▪ Sistema de Información geográfica – SIG

Es importante inicialmente definir Sistema de información Geográfica, de este modo, un SIG es fundamentalmente una herramienta para trabajar con información georreferenciada. Un SIG debe permitir la realización de operaciones: lectura, edición, almacenamiento y en generar, gestión de datos; para el análisis de dichos datos, esto incluye consultas sencillas, elaboración de modelos complejos; generación de resultados tales como mapas, informes y gráficos. Un SIG está conformado por tres subsistemas fundamentales: subsistema de datos, subsistemas de visualización y creación de cartográfica, y por último un subsistema de análisis. A su vez, un SIG debe tener cinco elementos básicos: **Datos** (materia prima necesaria para el trabajo en un SIG, contienen información básica vital), **Métodos** (conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos), **Software** (aplicación informática que pueda trabajar con los datos e implemente los métodos anteriores), **Hardware** (equipo necesario para ejecutar el software). **Personas** (son las encargadas de diseñar y utilizar el software siendo el motor del SIG). (Olaya, 2017).

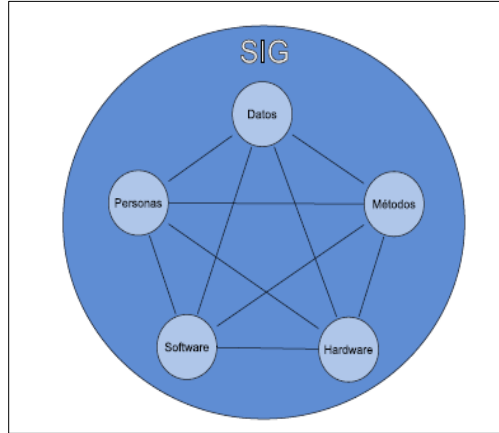


Ilustración 11. Elementos que forman un SIG. Fuente: (Olaya, 2017).

▪ Información geográfica

La información geográfica se puede dividir en dos componentes principales: el componente espacial y el componente temático. Por una parte, el *componente espacial* se refiere a la posición de un sistema de referencia establecido, este componente hace que la información pueda calificarse como geográfica, gracias a esto la información tiene una localización, responde a la pregunta *¿Dónde?*, este componente se entiende por el sistema de referencias o coordenadas. Por otro lado, el *componente temático*, responde a la pregunta *¿Qué?*, haciendo referencia a la naturaleza de dicho fenómeno y sus características particulares, de manera que, la componente temática puede ser de distintos tipos: numérica o alfanumérica, por un lado, la información **Numérica** puede encontrarse en varios grupos (*Nominal*: valor que representa una identificación; *Ordinal*: valor numérico que determina el orden. *Intervalos*: diferencia entre valores de las variables. *Razones*: pertenencia de una variable a un grupo.). Por último, en la información **Alfanumérica** se deben tener en cuenta la relación de la información, es decir, la dimensión, esta puede ser puntos, líneas, polígonos, relieves, polígonos tridimensionales. (Olaya, 2017).

- **Datos geográficos**

Los datos son necesarios para hacer que el resto de componentes de un SIG cobren verdadero sentido y puedan ejercer su papel en el sistema, la verdadera razón de los SIG reside en los datos. Resulta necesario tener conocimientos sobre las características fundamentales del dato geográfico, su forma y sus propiedades, de estos dependen los procesos que se puedan realizar. Es relevante conocer como los datos se gestionan y almacenan en un entorno digital, este es un aspecto informático que se desarrolla por la disciplina de la gestión de bases de datos. Según el aumento del volumen de datos, también aumenta los orígenes de estos y las formas en que la información geográfica puede recogerse. Un aspecto clave para el buen uso de los datos geográficos en un SIG es saber integrar datos de distintas procedencias, para hacer estos procesos se debe entender cómo se afecta las propias características de los mismos datos. También se debe tener en cuenta que la calidad de los datos sea confiable. (Olaya, 2017).

- **Sistemas de Referencia**

Un sistema de referencia es un grupo de convenciones y conceptos teóricos modelados que permiten definir, la orientación, ubicación y escala de tres ejes (X, Y, Z) el sistema es realizado mediante puntos reales, estos puntos se denominan marco de referencia. En su mayoría, las posiciones (X, Y, Z) se expresan en términos de coordenadas: latitud y longitud, las cuales requieren de un elipsoide de referencia. La orientación y ubicación del elipsoide asociado a un sistema coordenado se conoce como Datum Geodésico. El sistema de referencia terrestre es el sistema geocéntrico el cual es determinado, mantenido y proporcionado por el servicio internacional de rotación terrestre y sistemas de referencia, este sistema define su origen en el centro de masa terrestre. El sistema

de referencia geocéntrico para las Américas (SIRGAS) está conformado por una red con más de 180 estaciones geodésicas, esta distribución ofrece un cubrimiento homogéneo sobre el continente y las condiciones necesarias para que las redes nacionales estén vinculadas, el datum geodésico está definido a partir de los parámetros del elipsoide GRS80. (División de Geodesia de la Subdirección de Geografía y Cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004).

- **Bases de datos**

Una Base de Datos Geográfica es un conjunto de datos geográficos organizados de tal manera que permiten la realización de análisis y la gestión del territorio dentro de aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica. Además, las bases de datos se utilizan de soporte para la implantación de servicios geográficos relacionados con las Infraestructuras de Datos Espaciales y su contenido es fundamental en los procesos de producción cartográficos. El componente principal de una base de datos es el modelo de datos que consiste en la formalización conceptual o descripción de las entidades geográficas, la implementación del modelo debe facilitar la explotación y optimización del almacenamiento para conseguir mejor rendimiento en las consultas.

La descripción de los diferentes productos de una base de datos queda reflejada en las denominadas especificaciones del producto. En ellas se recogen tanto el catálogo de objetos geográficos asociado como el sistema de referencia, la calidad de los datos y los metadatos, así como la captura, el mantenimiento y la distribución de los mismos. (Instituto Geográfico Nacional, 2010). Una base de datos relacional está organizada en tablas y relaciones entre tablas. De esta manera, las tablas se organizan en campos y registros de manera similar a las columnas y filas de una hoja de cálculo. Cada registro

de una tabla representa un objeto con las mismas propiedades, por ello, las propiedades están almacenadas en un campo de un tipo determinado, asimismo, toda tabla tiene una clave primaria formada por un campo o un conjunto de campos. Las tablas de una base se pueden relacionar con otras tablas mediante claves foráneas. Algunas ventajas de las bases de datos son la facilidad en el manejo de grandes volúmenes de datos, alto rendimiento en consultas, seguridad de acceso a la información, integridad referencial y no duplicidad de los datos, acceso concurrente y transaccional a los datos, copias de seguridad y recuperación de datos.

Ahora bien, los datos geográficos son la representación digital de entidades, objetos o fenómenos que ocurren sobre la superficie de la Tierra o cerca de esta. Las bases de datos geográficos deben almacenar y permitir la exportación, modificación y consulta de entidades que recopilen información tanto geográfica como alfanumérica.

En otras palabras, un elemento geográfico es un conjunto de la geometría que lo representa sobre el territorio y los atributos alfanuméricos que describen las propiedades. Existen dos maneras de almacenar información geográfica: por una parte, el almacenamiento de datos vectoriales, que son objetos tipo punto, línea o polígono, por otro lado, el almacenamiento de datos tipo ráster, pueden ser de tipo cobertura o imágenes ráster.

También todos los datos geográficos tienen en común una localización sobre la tierra que puede ser capturada y almacenada, y unos atributos y propiedades que caracterizan estos datos. Los datos geográficos, al igual que los datos simplemente alfanuméricos, se pueden guardar en multitud de formatos y modelos. (Plana et al., 2006).

▪ Modelos espaciales

Son representaciones del mundo real que emplean un conjunto de datos y objetos que pueden ser desplegados bien sean como un mapa, consultas, edición y análisis.

Para almacenar eventos de la realidad y reducirla a un conjunto de valores numéricos se requiere un proceso que consta de tres etapas fundamentales, inicialmente se requiere el establecer un modelo geográfico o conceptual de la realidad geográfica y su comportamiento, es la forma en que se va a interpretar la realidad geográfica, se busca conceptualizar el espacio estudiado, la variable tratada y la variación de esta a lo largo del espacio; este modelo es un esquema de la forma como se entiende el evento geográfico. Algunos modelos geográficos destacados son: el modelo de *Campos*, donde un campo es un modelo de variación dentro de un marco dimensional, en el cual cada punto dentro de dicho marco tiene un valor de la variable estudiada, por otro lado, el modelo *Entidades discretas*, no asocia a cada punto geográfico un valor, sino que concibe un entorno geográfico como un espacio vacío sobre el que se sitúan distintos elementos que lo van rellenando.

La siguiente etapa es establecer un modelo de representación o modelo de datos, es decir, una forma de recoger el modelo conceptual y sus características propias, reduciendo a una serie finita de elementos, los modelos de representación son el Modelo ráster y el modelo vectorial. La última etapa es establecer un modelo de almacenamiento, plantea básicamente un esquema de cómo convertir unidades recolectadas en el modelo de datos en valores numéricos de la manera más eficiente. Es decir, cómo escribir dichos valores en un soporte digital o guardarlos en la memoria del ordenador de la mejor manera posible. Los modelos de almacenamiento deben atender principalmente a dos

necesidades básicas, que son las que definirán su idoneidad para cada tarea y tipo de dato: Minimizar el espacio ocupado por los datos y Maximizar el rendimiento de las operaciones. (Olaya, 2017).

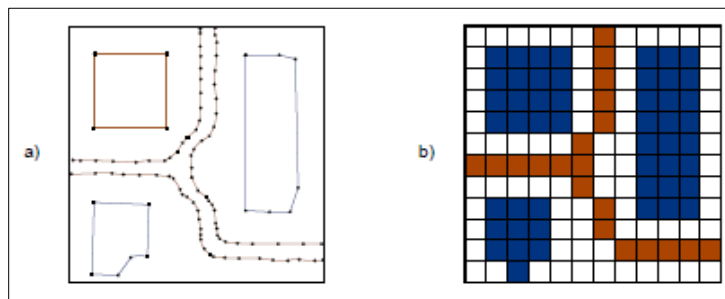


Ilustración 12. Comparación entre esquema del modelo de representación vectorial (a) y ráster (b). Fuente: (Olaya, 2017).

▪ **Análisis de redes**

El análisis espacial es el estudio cuantitativo de fenómenos que se manifiestan en el espacio, para realizar estos análisis es pertinente revisar la posición, superficie y distancia, ya que, se necesita que esta información esté referenciada espacialmente. El resultado del análisis espacial son capas de datos gráficos, tablas de datos, escalares o vectores. Existen varios tipos de análisis espacial como son: consulta espacial, análisis topológico, medición, combinación, transformaciones, análisis de superficies, estadística descriptiva, inferencia, toma de decisiones, optimización y modelización. (Olaya, 2017)

El análisis de redes se define como un sistema de elementos interconectados, con líneas, cruces de conexión y puntos, que representan las posibles rutas desde una ubicación a otra. El análisis de ruta permite el trazado de la ruta más óptima entre dos puntos. (Madrigal Aguilera, 2013).

6.4. Software SIG

El software es uno de los componentes fundamentales para la construcción de un SIG, se encuentran software de tipo comercial y de tipo libre. El más conocido de forma comercial es ESRI como pionero en soluciones SIG, estos software con características comerciales deben contar una licencia que tiene un costo, también existen algunos software libres que permiten el desarrollo de proyectos educativos entre otros con funciones y desarrollos similares a los software comerciales.

- **Software libre**

El software libre tiene una serie de características que lo describen como la libertad de usar el programa con cualquier propósito, la libertad de estudiar cómo funciona el programa y adaptarlo a las necesidades del usuario, libertad de distribuir copias, libertad de mejorar el programa y hacer públicas las mejoras para beneficiar a más usuarios. Debe garantizar una serie de derechos o libertades al usuario. (Saria & Palazon Ferrando, 2004)

Es una alternativa para los países en desarrollo, permite un acceso más directo y fluido a las herramientas informáticas y una mayor difusión de las mismas y de los conocimientos asociados a ellas. Un software libre para una determinada tarea permitirá a aquellos usuarios tener un acceso adecuado a sus funcionalidades, y encontrar así, de forma óptima, una herramienta que aplicar en su trabajo, a diferencia de las limitaciones que establece el software privativo o comercial. Adicionalmente, el software libre puede ser modificado y permite que se ofrezcan servicios de diversa índole basados en él, abriendo así vías para la creación de actividades y negocios sostenibles que pueden tener un impacto positivo en el desarrollo de la economía del país. (Olaya, 2009).

Existen muchos software libres, por ejemplo: QGIS, es tal vez uno de los más populares y nombrados, puede automatizar la producción de mapas, procesar datos geoespaciales y generar figuras cartográficas complejas, si bien las herramientas son amplias, también cuenta con complementos mejor conocidos como plugins, que son el resultado de los desarrollos de usuarios y la comunidad QGIS, de alguna manera el esfuerzo y la cooperación de los usuarios es la clave del éxito de este software.

Esta también gvSIG, en 2004, este proyecto surgió como una opción de software libre y código abierto en España, este supera a otros en desarrollo 3D, ofrece la mejor visualización 3D disponible en SIG de código abierto, a su vez es bueno para trabajos de campo en teléfonos móviles gracias a su interfaz y herramientas GPS. Whitebox TAG, existe desde 2009, es muy útil para temas de hidrología, es una herramienta para aplicaciones hidrogeomorfológicas, tiene gran uso de datos LiDAR. SAGA GIS, ofrece un conjunto de métodos geocientíficos, proporciona una interfaz gráfica de usuario y una aplicación fácil de usar, es muy útil para modelado ambiental. GRASS GIS, fue desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los estados unidos como una herramienta para el manejo de la tierra y la planificación ambiental, es muy útil en diseño cartográfico, procesamiento de imágenes, manipulación digital de terreno y estadísticas. Por otra parte, MapWindow, posee herramientas de procesamiento, identificación de características, visor de mapas y diseño de impresión, cuenta con herramientas de mayor nivel como TauDEM para la delineación automática de cuencas hidrográficas. ILWIS, dirigido en especial para planificadores, biólogos, administradores del agua y usuarios geoespaciales, se utiliza para la teledetección con herramientas de clasificación de imágenes, mejoras y manipulación de bandas espectrales.

GeoDa, se utiliza principalmente para introducir a nuevos usuarios en el análisis de datos espaciales, su principal función es la exploración de datos en estadística. uDig, es una buena opción para cartográfica básica, Mapnik permite importar mapas base como ArcGIS, es fácil de usar, el catálogo, la simbología y la funcionalidad de Mac OS son de gran utilidad. OpenJump, maneja bien los grandes conjuntos de datos, tiene un buen renderizado, puede generar gráficos circulares, diagramas y otros. (ArcGeek, 2019).



Ilustración 13. Software libre (Elaboración Propia)

- **Software QGIS**

QGIS es una aplicación profesional de SIG que está construida sobre Software Libre y de Código Abierto, es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Corre sobre Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos. Es un proyecto impulsado por voluntarios, donde se aceptan contribuciones en torno a la forma de código, corrección de errores, reportes de errores, aportes de documentación, apoyo y soporte a otros usuarios. Proporciona una creciente gama de características a través de sus funciones básicas y complementos, se pueden visualizar, editar, analizar datos y diseñar mapas imprimibles. También proporciona un explorador de archivos espaciales, una aplicación de servidor y aplicaciones web. QGIS Desktop, permite crear, editar, visualizar y publicar información geoespacial. En el servidor QGIS se pueden publicar proyectos y capas como servicios WMS, WMTS, WFS y WCS. A su vez, QGIS tiene

varias aplicaciones optimizadas que permite llevar información a campo. Este software es muy extenso en documentación de apoyo para la utilización de las herramientas y procesos. (QGIS, 2020).

▪ **Herramienta de análisis de redes**

Existen varias herramientas para realizar este tipo de análisis, con datos propios o con servicios de datos existentes. Algunas herramientas son: Herramientas de análisis de red predeterminadas de QGIS. Las herramientas de análisis de red de procesamiento predeterminadas se incluyen por defecto en QGIS. Proporcionan funcionalidad para calcular rutas de menor costo y áreas de servicio (distancia o tiempo) en función de nuestros propios datos. Se pueden hacer análisis de: ruta más corta de capa a punto, ruta más corta de punto a capa, ruta más corta de punto a punto, servicio de área de capa, servicio de área de punto.

Complemento QNEAT3, abreviatura de QGIS Network Analysis Toolbox 3, tiene como objetivo proporcionar sofisticados algoritmos QGIS Processing-Toolbox en el campo del análisis de red. QNEAT3 se integra en la Caja de herramientas de procesos de QGIS 3 y ofrece diversos algoritmos: desde la resolución más simple de calcular rutas más cortas hasta tareas más complejas como Iso-Area, también conocido como áreas de servicio, polígonos de accesibilidad y el cálculo de OD-Matrix (matriz origen-destino).

Complemento Hqgis, actualmente, es compatible con geocodificación, enrutamiento, búsqueda de PDI y análisis de isócronas. Hqgis no expone toda su funcionalidad a la caja de herramientas Procesamiento, en cambio, el conjunto completo de funcionalidades se proporciona a través de la interfaz gráfica del complemento. Plugin ORS Tools, ORS Tools proporciona acceso a la mayoría de las funciones de

openrouteservice.org, basadas en OpenStreetMap. El conjunto de herramientas incluye enrutamiento, isocronas y cálculos matriciales, ya sea de forma interactiva en el lienzo del mapa o desde archivos de puntos dentro de la Caja de herramientas de Procesos. Se establecen amplios atributos para archivos de salida, incluyendo duración, longitud y ubicaciones de inicio / finalización.

ORS Tools se basa en datos de OSM, sin embargo, el uso de este complemento requiere una clave API openrouteservice.org. *Plugin TravelTime [de pago]*, este complemento añade una barra de herramientas y algoritmos de procesamiento que permiten consultar la API de la plataforma TravelTime directamente desde QGIS. La API de la plataforma TravelTime permite obtener polígonos basados en tiempos de viaje reales utilizando varios modos de transporte, lo que permite resultados mucho más precisos que los simples cálculos de distancia. (Morales, 2019).

- **Algoritmo de Análisis**

El algoritmo de Dijkstra, más conocido como el algoritmo de caminos mínimos, es un algoritmo para la determinación de camino más corto dado un vértice de origen al resto de vértices de un gráfico con valores en cada arista, su nombre se refiere a Edsger Dijkstra, quien lo describió por primera vez en 1959. Existen múltiples aplicaciones para este algoritmo donde se hace necesario conocer el camino de menor costo entre dos vértices, por ejemplo: en la distribución de productos a una red de establecimientos comerciales, distribución de correos postales, entre otros. El problema del camino más corto de un vértice a otro consiste en determinar el camino de menor costo, desde un vértice u a otro vértice v . El costo de un camino es la suma de los costos (pesos) de los arcos que lo conforman. (EduRed, 2020).

7. Metodología

7.1. Enfoque metodológico

El desarrollo de este proyecto se ejecutará mediante un enfoque **cuantitativo**, dado que las características del fenómeno del servicio de transporte que se estudia son medibles cuantitativamente. Los datos que se recolectan se estandarizarán y se realizará estadística espacial para tomar puntos de interés en el desarrollo.

El análisis de datos espacial estará contenido de datos cuantificables, como son la cantidad de usuarios, las distancias de las rutas de recorrido, las características viables del municipio. Todos estos son datos que tienen un valor real que puede ser objeto de análisis.

7.2. Tipo de estudio

El tipo de estudio en el que se abordará el desarrollo del proyecto, será un estudio **descriptivo**, puesto que el tema es el transporte público y para realizar un análisis se deben tener en cuenta todos los componentes que lo conforman, se realizará la medición de conceptos ya presentes, y finalmente se definirán las variables que son relevantes para el desarrollo.

7.3. Diseño de la investigación

De acuerdo a los objetivos propuestos, se desarrollarán 4 etapas principales.

- Identificación de elementos y parámetros que se tendrán en cuenta para el desarrollo del análisis: esta es la primera etapa de la investigación, su principal fin será la descripción de las características del sistema de transporte actual, por ejemplo, cantidad de rutas, descripción y categorización de usuarios que intervienen, horarios y puntos espaciales de mayor concurrencia en el sistema, entre otros.

- Desarrollo del análisis espacial: en esta etapa se realizará la estructuración de las variables que intervienen el sistema. La creación del análisis de datos espacial, estableciendo los condicionales y aspectos generales que se identificaron en la fase anterior, mediante software SIG.
- Diseño de rutas: posteriormente se llevará a cabo la elaboración de rutas de acuerdo a las variables del sistema y al análisis planteado en la etapa anterior se procederá a realizar el trazado de las rutas que cumplan con los criterios establecidos.
- Estructurar y analizar de los resultados: por último, se organizarán los resultados obtenidos por categorías con el fin de analizarlos y así dar respuesta a los diferentes actores dentro del sistema.

7.4. Operacionalización de variables

A continuación, se describen algunas variables que intervienen en el sistema de transporte público, relacionándola con un indicador medible.

Variable	Indicador
Tiempo de recorrido de rutas de transporte público urbano y rural en Chía.	Calcular el tiempo que tarda en recorrer un vehículo desde un punto inicial hasta un punto final.
Distancia que recorre un vehículo realizando una ruta establecida.	Calcular la distancia que recorre un vehículo desde un punto inicial hasta un punto final.
Periodos de recurrencia de cada ruta.	Calcular el tiempo que tarda en pasar una ruta después de otra.
Velocidad promedio de las vías.	Calcular la velocidad promedio de las vías principales.
Distancias entre puntos de interés.	Calcular las distancias que separan los diferentes puntos de interés donde los usuarios requieren el servicio.
Cantidad de paraderos y centros de despacho.	Calcular la cantidad de zonas de paraderos y a su vez centros de despacho habilitados para los vehículos.

Tabla 1. Variables e Indicadores. (Elaboración Propia).

7.5. Planeamiento y desarrollo de la metodología

La metodología se desarrolla en 4 etapas con el fin de alcanzar los objetivos propuestos.

Etapas	Objetivo	Descripción
Identificación de elementos y parámetros.	1. Identificar las variables que se deben tener en cuenta para el análisis espacial de rutas de transporte público.	Definir características del sistema de transporte.
Desarrollo del análisis espacial.	2. Implementar un análisis espacial a partir de las variables identificadas para la estructuración de nuevas rutas.	Estructuración de las variables que intervienen el sistema para su análisis.
Diseño de rutas.	3. Estructurar las rutas de servicio de transporte público de acuerdo al análisis espacial realizado.	Elaboración de rutas de acuerdo al análisis espacial.
Estructurar y analizar los resultados.	4. Analizar los resultados obtenidos para seleccionar las rutas óptimas que mejoren el sistema.	Organizar los resultados obtenidos por categorías para analizarlos y dar respuestas.

Tabla 2. Esquema Propuesto de metodología (Elaboración Propia).

- **Etapas 1 - Identificación de elementos y parámetros.** En esta etapa se busca precisar características propias del sistema de transporte, de esta manera se definirán aspectos importantes como son la identificación de la población, la descripción de la malla vial, la definición de paraderos y la identificación de rutas actuales.

✓ **Identificación de la Población**

Para determinar los usuarios que realizan uso del medio transporte público inicialmente se estimó la cantidad de habitantes por cada vereda esto de acuerdo al “Diagnóstico Municipal de Chía. Plan de Desarrollo 2020-2023” (Alcaldía Municipal de Chía, 2020), de esta manera se determinó que la vereda con mayor cantidad de habitantes es la Vereda Bojacá, con un aproximado de 12757 habitantes, seguido por la Vereda La Balsa con

6178 habitantes, a su vez, seguido por la Vereda Fonquetá con 3258 habitantes, a continuación se ejemplifican gráficas para visualizar mejor estos datos.

Nombre	Población
Vereda Bojacá	12757
Vereda La Balsa	6178
Vereda Fonquetá	3258
Vereda Tiquiza	2688
Vereda Cerca de Piedra	2620
Vereda Fagua	2427
Vereda Yerbabuena	2248
Vereda Fusca	710

Tabla 3. Cantidad de habitantes por Vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2020)).

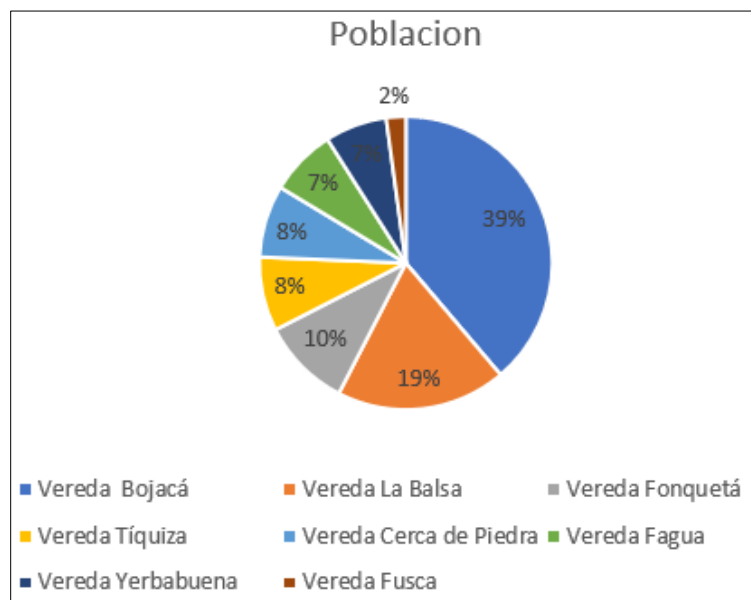


Ilustración 14. Porcentaje de cantidad de habitantes por Vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2020)).

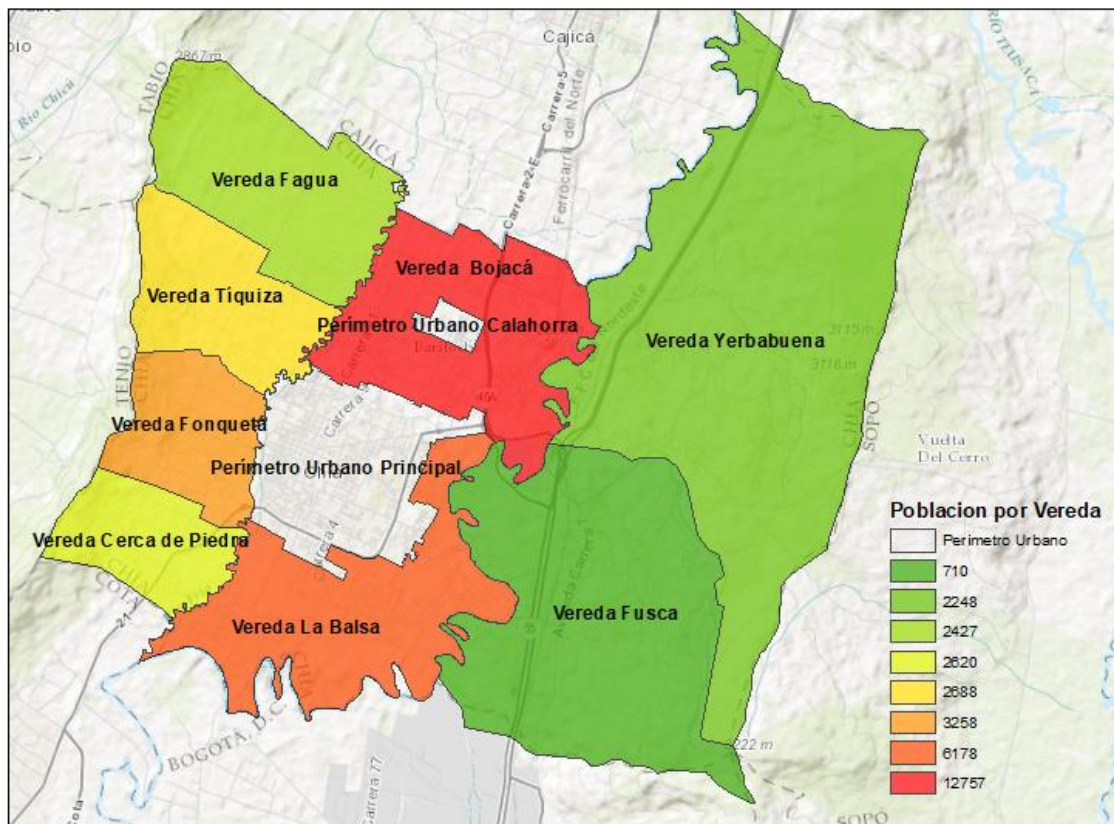


Ilustración 15. Cantidad de habitantes por Vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2020) (Base Map ESRI, 2020)).

Posterior a estimar la población por vereda, se establecieron parámetros para determinar la cantidad de usuarios del servicio de transporte público, de esta manera se estableció que los usuarios que hacen uso de este servicio se ubican en los estratos 1, 2, 3 y 4; estos usuarios se ubican en centros poblados dentro de la zona rural, asimismo, en el “Diagnóstico Municipal de Chía Plan de Desarrollo 2020-2023” (Alcaldía Municipal de Chía, 2020), se establecen porcentajes de participación de los habitantes en modos de transporte así se establece que el 9 % de la población hace uso del transporte público urbano.

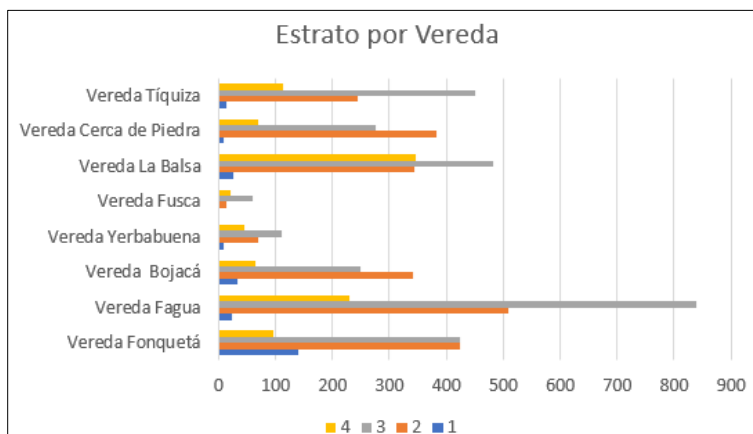


Ilustración 16. Cantidad de habitantes según el estrato por Vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2020)).

Tomando como base estos datos se estima la cantidad de usuarios en un día por vereda, de acuerdo a los resultados la vereda Fagua tiene la mayor cantidad de usuarios, seguidos por la vereda la Balsa y Vereda Fonquetá, a continuación, se exponen algunas gráficas para visualizar mejor estos datos.

Nombre	Usuarios
Vereda Fagua	808
Vereda La Balsa	603
Vereda Fonquetá	547
Vereda Tiquiza	415
Vereda Cerca de Piedra	371
Vereda Bojacá	348
Vereda Yerbabuena	118
Vereda Fusca	48

Tabla 4. Cantidad de usuarios por Vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2020)).

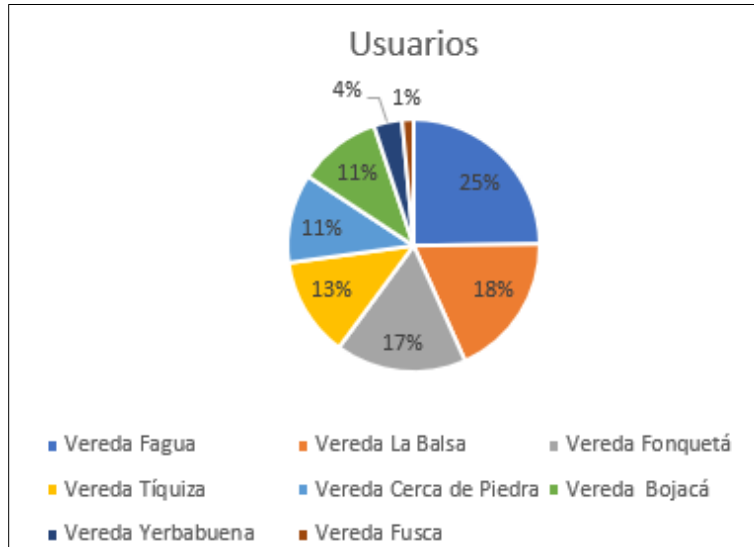


Ilustración 17. Porcentaje de cantidad de usuarios por Vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2020)).

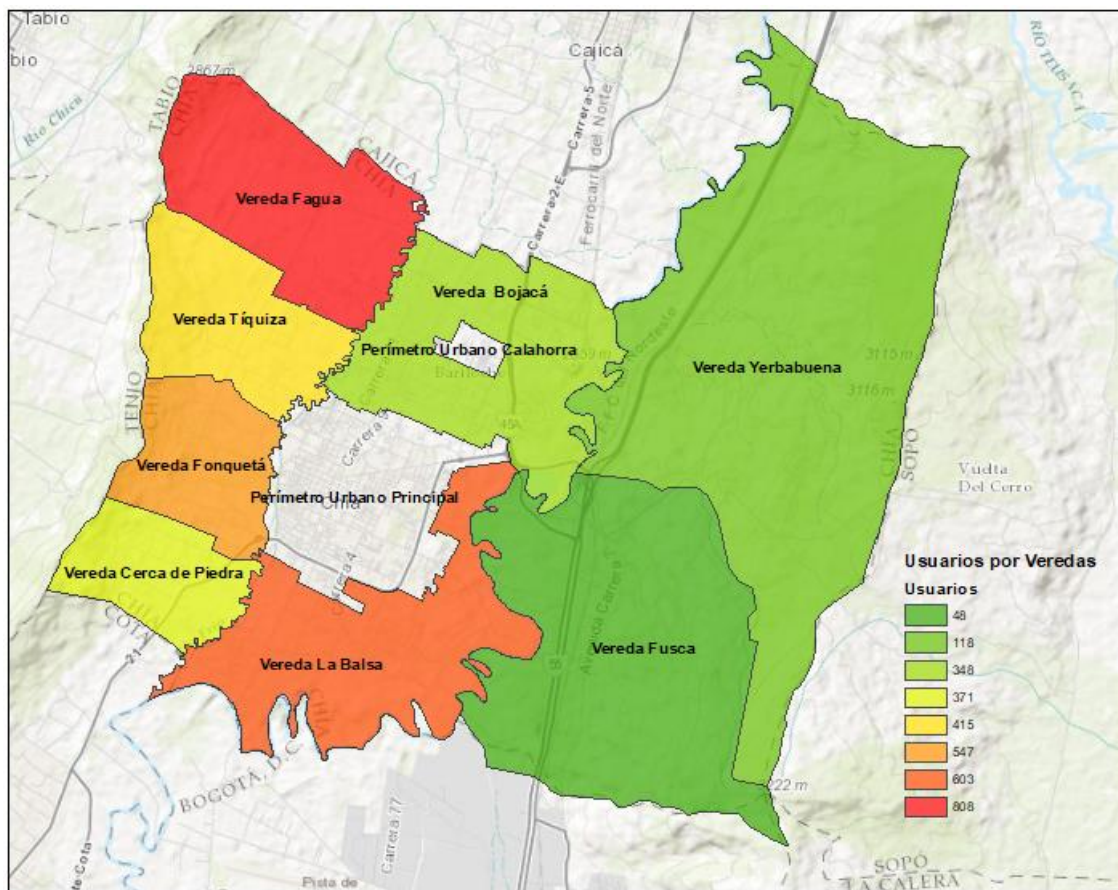


Ilustración 18. Cantidad de usuarios por Vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2020) (Base Map ESRI, 2020)).

De acuerdo al análisis de estos datos de población y usuarios, se establece que, las veredas de la zona sur y occidente de la cabecera urbana del municipio de Chía requieren mayor presencia de servicio de transporte público urbano, pues la cantidad de usuarios es mayor que las veredas de la zona oriental y norte del municipio, así las veredas donde se requiere mayor servicio son: Vereda Fagua, Vereda La Balsa, Vereda Fonquetá, Vereda Tíquiza y Vereda Cerca de Piedra, por otra parte, aunque se requiere el servicio, la cantidad de usuarios es menor para la Vereda Bojacá, Vereda Yerbabuena, Vereda Fusca. Adicionalmente, es importante resaltar que la cantidad de usuarios de la Vereda Bojacá, podría ser mayor, puesto que se localiza un corregimiento de la zona urbana dentro de esta vereda, estos datos de población urbana no fueron tenidos en cuenta para este estudio, dado que el análisis y desarrollo de este trabajo se realizó para la zona rural del municipio de Chía.

✓ ***Malla Vial***

Teniendo en cuenta la información previa de la malla vial del municipio de Chía, se realizó depuración de la misma estableciendo vías privadas, públicas y servidumbres, de esta manera, se realizó la categorización de las mismas para determinar cuáles son óptimas para hacer recorridos de transporte de servicio público, a su vez, se tuvo en cuenta información de la población, por lo cual, se suprimen vías y en especial servidumbre que son de difícil acceso, vías cerradas, o entradas a predios privados que si bien son de uso público su tránsito es de uso restringido por la propiedad.

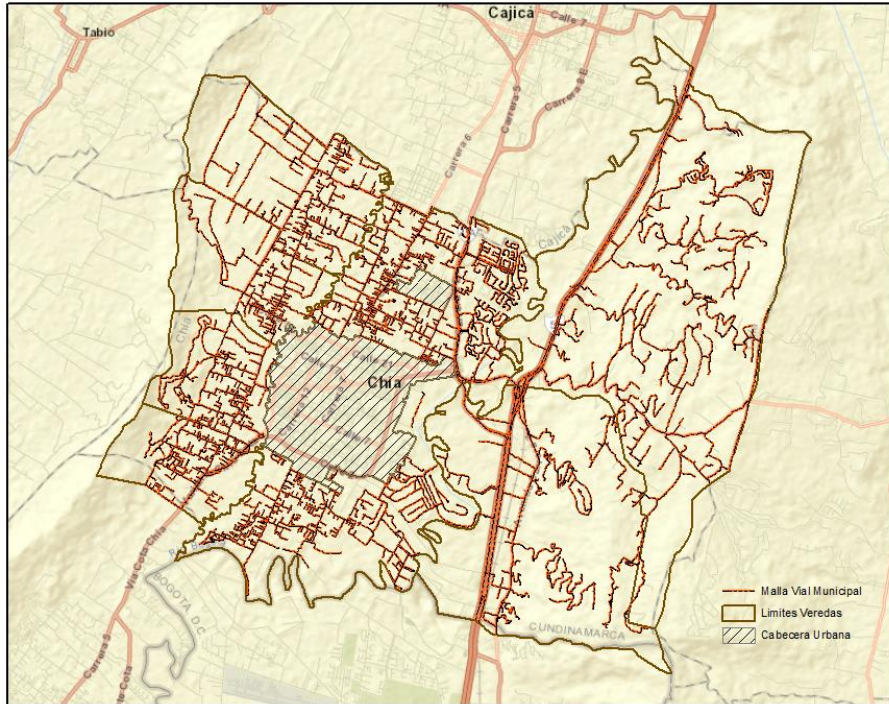


Ilustración 19. Malla Vial previa (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).

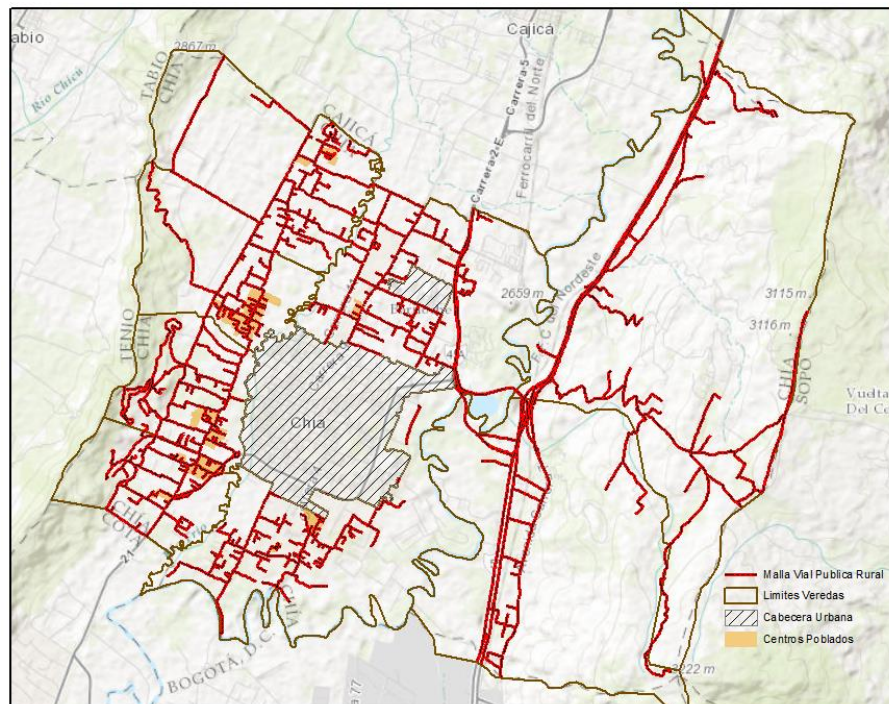


Ilustración 20. Malla Vial depurada (Elaboración Propia. Fuente:(Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).

Según información de la malla vial se muestra el tipo de material de las vías rurales, determinado por cuatro grupos: vías en material tipo Adoquín, Asfalto, Mejorada y Recebo. A continuación, se muestra el porcentaje de material en las vías por cada una de las veredas.

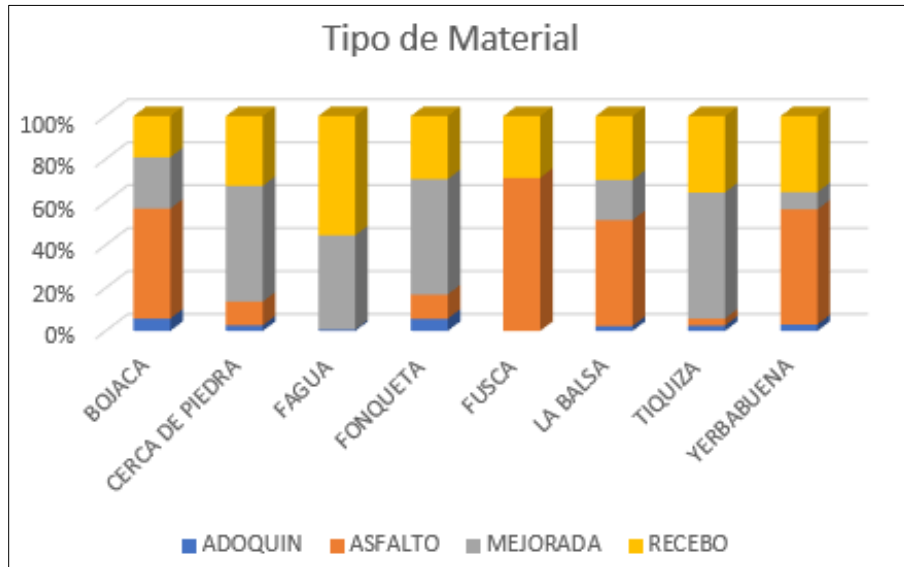


Ilustración 21. Tipo de material de las vías por vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)).

Con la información recolectada del tipo de material de las vías principales de la malla vial y teniendo en cuenta que las vías rurales tienen doble sentido vial, para este estudio, se estipuló la velocidad máxima promedio permitida de tal manera que, las vías con material tipo asfalto tienen una velocidad mayor y las vías en material tipo recebo tendrán una velocidad menor.

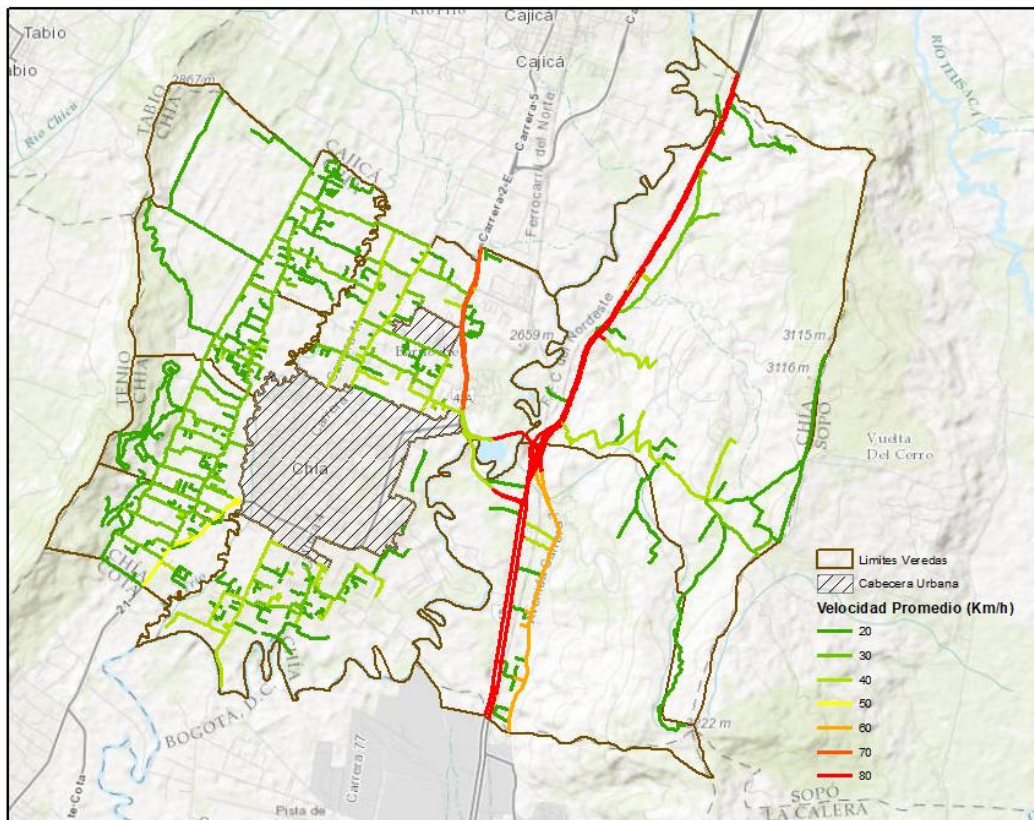


Ilustración 22. Malla vial, Velocidad máxima promedio (km/h) (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).

Se visualiza en la ilustración 23 que la velocidad máxima promedio para la zona rural se establece entre 20 km/h y 40 km/h, además, se puede ver que la velocidad máxima de 80 km/h corresponde a la Autopista Norte en las veredas Fusca y Yerbabuena, en las cuales no existe mayor número de usuarios del servicio de transporte público.

✓ Paraderos

Para determinar los paraderos de las rutas transporte público se tomó como referencia inicial los paraderos de las rutas escolares, de esta manera se estableció la ubicación de los mismos con respecto a cada una de las veredas.

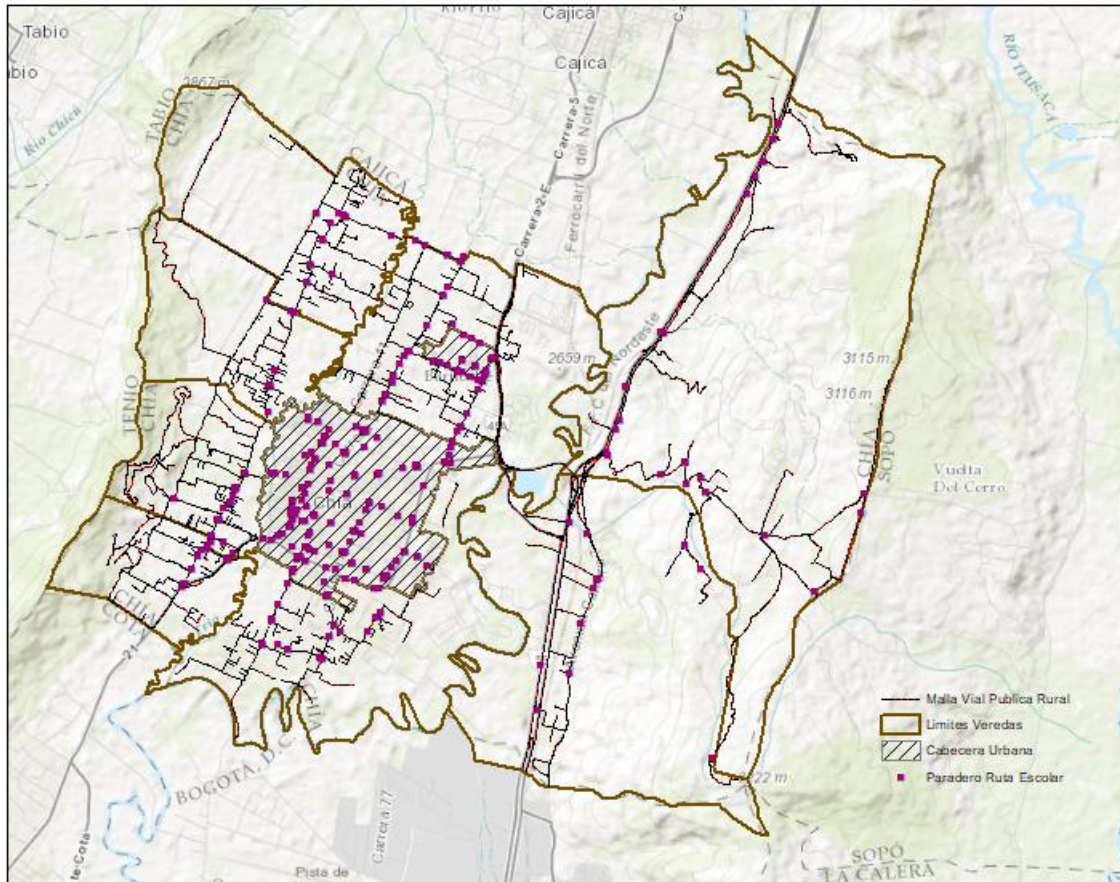


Ilustración 23. Paraderos existentes de rutas escolares (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).

Con la visualización de estos paraderos se pudo determinar que no tenían cobertura en la totalidad de las vías de la zona rural del municipio, motivo por el cual, se realizó la depuración de esta información para la zona urbana.

Con el fin de identificar y precisar la ausencia de paraderos se tomó la información de los paraderos actuales aplicando polígonos proximales de Thiessen se visualiza la necesidad de proponer paraderos adicionales a los escolares para tener cobertura en la malla vial rural y garantizar la prestación del servicio en las diferentes veredas.

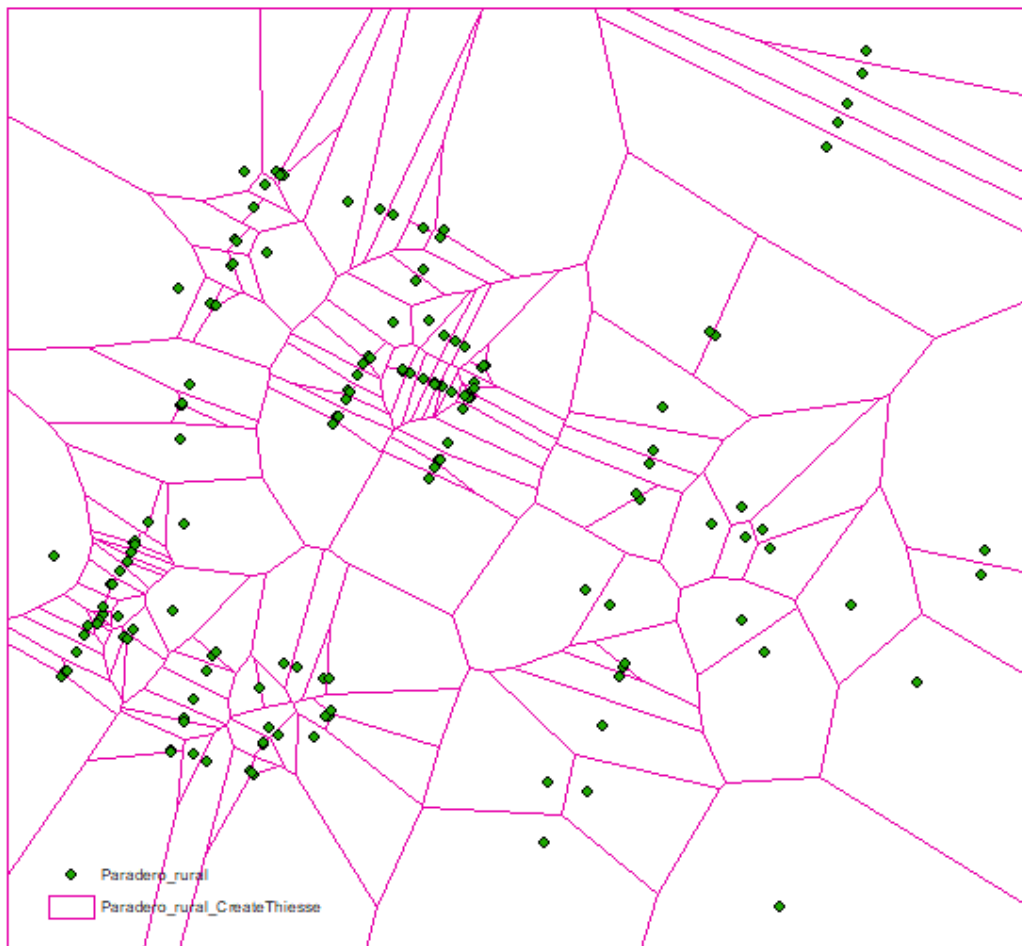


Ilustración 24. Paraderos actuales aplicando polígonos proximales de Thiessen (Elaboración Propia).

Según los resultados obtenidos al aplicar polígonos proximales de Thiessen, se determina que se debe complementar los paraderos, de acuerdo a esto se realiza una visualización y fotointerpretación a la imagen satelital de Google earth con actualización del año 2020, asimismo, se toma en cuenta la información de construcciones rurales, obtenida de datos libre del IGAC y la capa de centro poblados, se realiza el análisis de las mismas y se proponen puntos de interés, con esto se busca complementar los paraderos ya existentes.

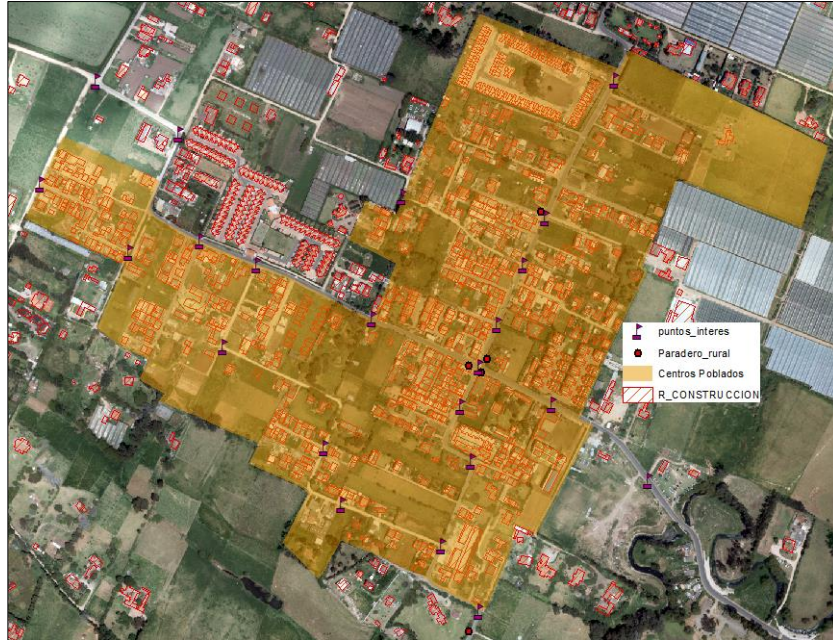


Ilustración 25. Paraderos propuestos (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, b2017) (Base Map ESRI, 2020)).

Como resultado se establecieron puntos de interés y se determinó una calificación en una escala de 1 a 5, estableciendo 5 unidades para los puntos con más importancia o aglomeración de usuarios y 1 unidad para los puntos menos importantes o con menor número de usuarios.

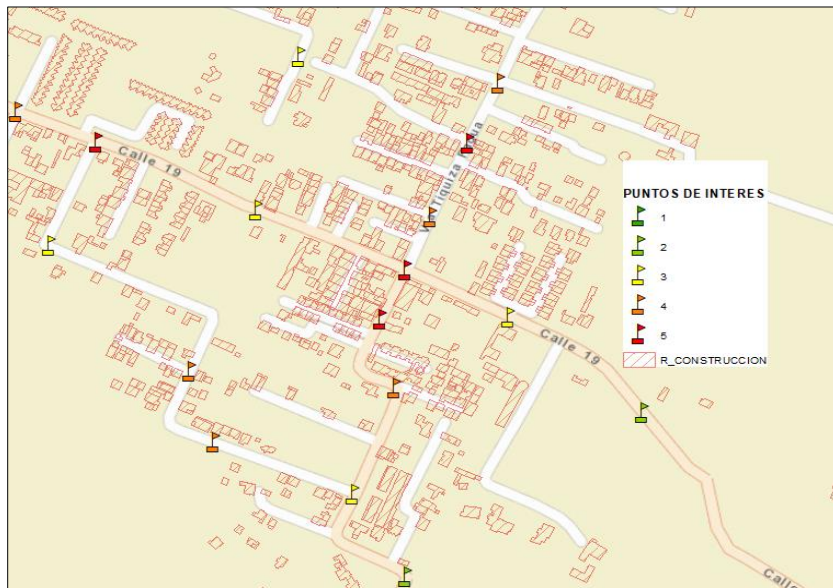


Ilustración 26. Puntos de interés - importancia con respecto a usuarios. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).

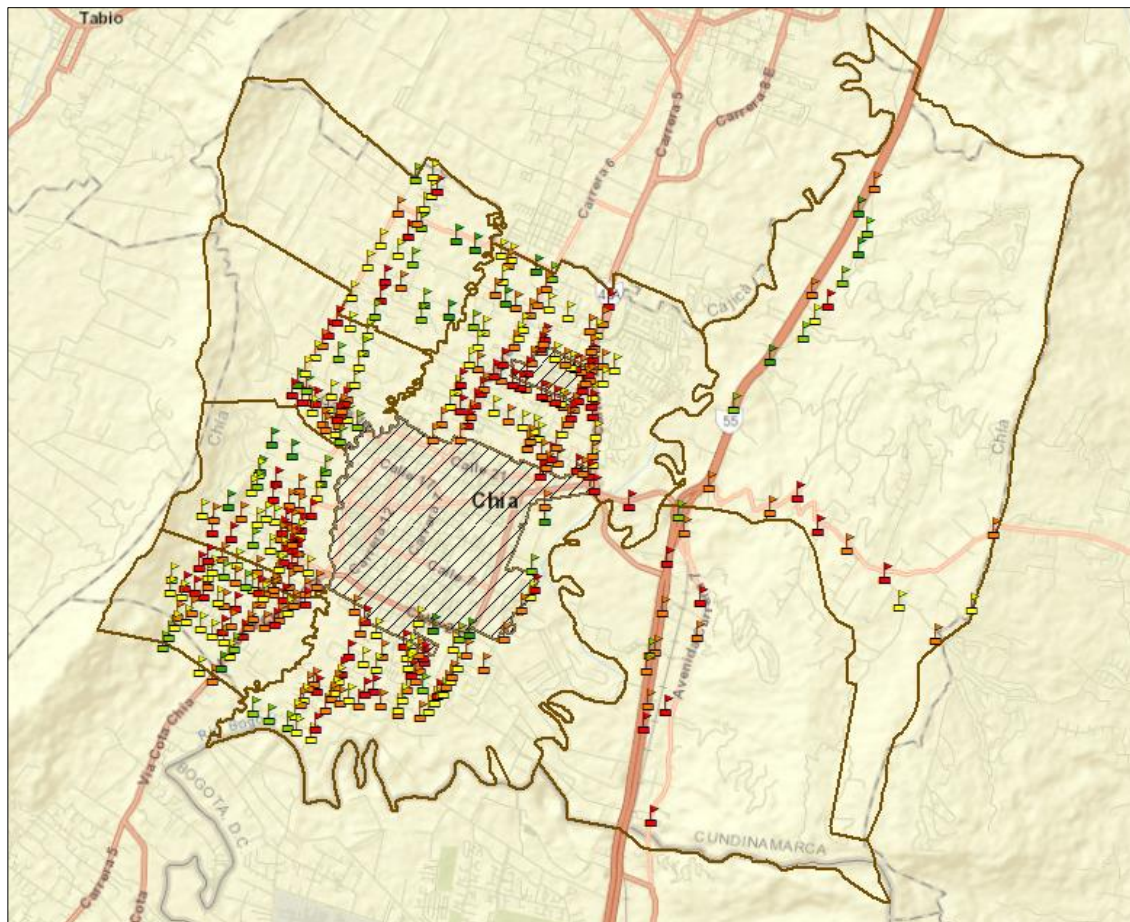


Ilustración 27. Paraderos propuestos por vereda (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).

✓ **Rutas Actuales**

De acuerdo a información de rutas rurales actuales, tomada del visor geográfico de la Alcaldía de Chía, se estableció la demarcación actual de las diferentes rutas, dado que, al consultar con diferentes usuarios y conductores se estimó el tiempo de recorrido y la frecuencia de las mismas.

NÚMERO	NOMBRE	FRECUENCIA (Minutos)	TIEMPO RECORRIDO (Minutos)	DISTANCIA (KM)
1	FONQUETA 2	30	30	4.9
2	FONQUETA	10	35	7.7
3	SAMARIA	8	50	7.9
4	TIQUIZA	10	35	8.4
5	CIRCULAR COLMENA	15	30	8.7
6	LA Balsa - LAS JUNTAS	10	45	9.8
7	BOJACÁ	4	35	10
8	BOSQUE DE CHÍA	15	45	10.3
9	FAGUA RINCON	10	50	13.1
10	GUANATA FAGUA	15	50	14.1
11	PEAJE	4	40	15.5
12	PÓRTICO	10	40	17.1
13	CENTRO CHÍA - RIO FRIO	5	60	18.2
14	CERCA DE PIEDRA - 20 DE JULIO	10	70	19.1
15	SINDAMANOY	30	70	21.2
16	YERBABUENA	30	70	26.9

Tabla 5. Rutas de transporte rural, tiempo de recorrido, frecuencia (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)).

A continuación, se muestra la demarcación de cada una de las rutas por vereda, mostrando de esta manera el cubrimiento que tienen en todo el municipio, del mismo modo, se puede visualizar que diferentes rutas tienen recorridos por el mismo segmento vial. La visualización de esta información se usó como base para el análisis de los recorridos propuestos en las nuevas rutas.

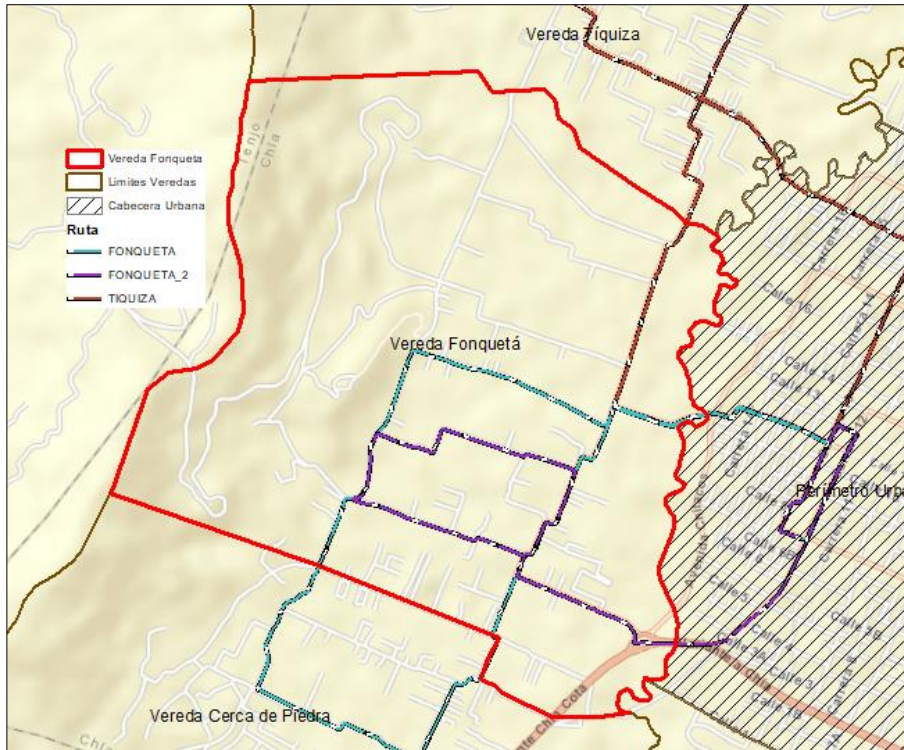


Ilustración 28. Rutas de transporte rural – Vereda Fonqueta (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).

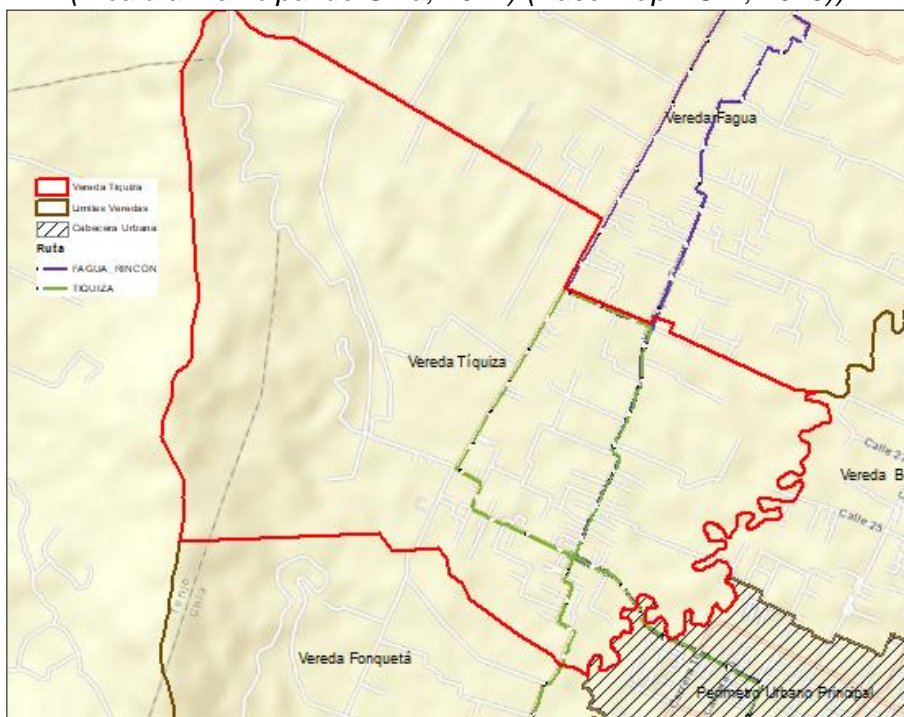


Ilustración 29. Rutas de transporte rural – Vereda Tiquiza (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).

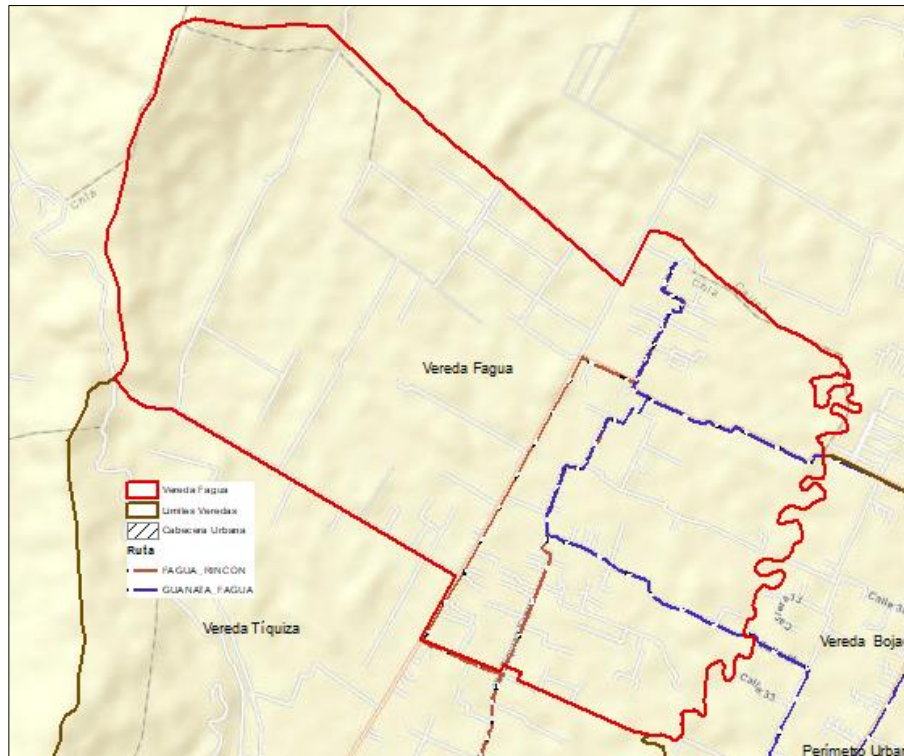


Ilustración 30. Rutas de transporte rural – Vereda Fagua (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).

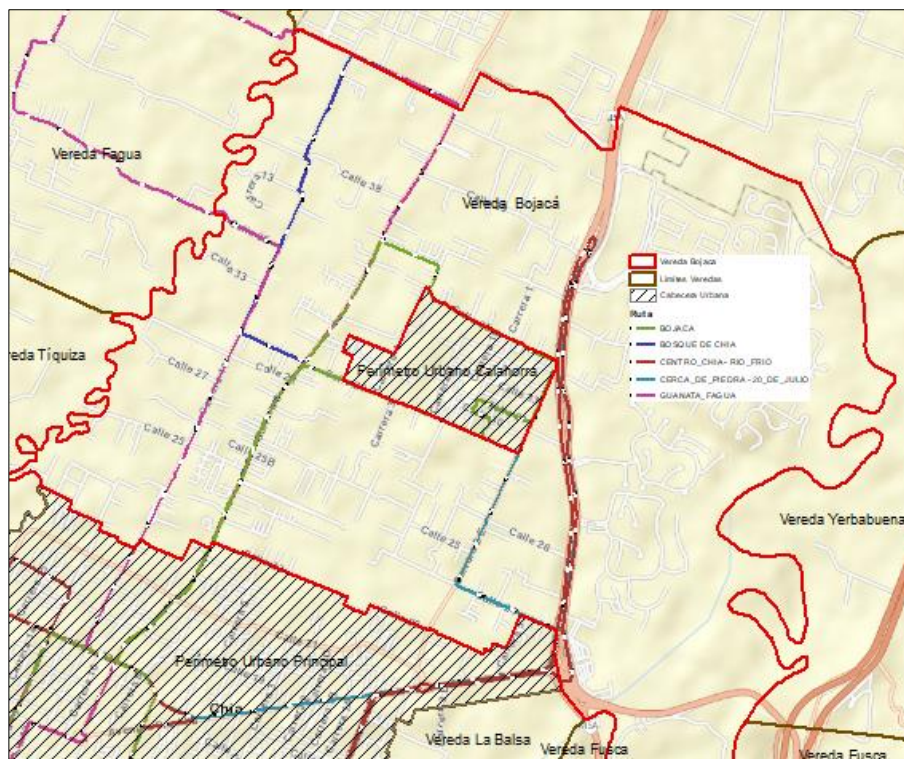


Ilustración 31. Rutas de transporte rural – Vereda Bojacá (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).

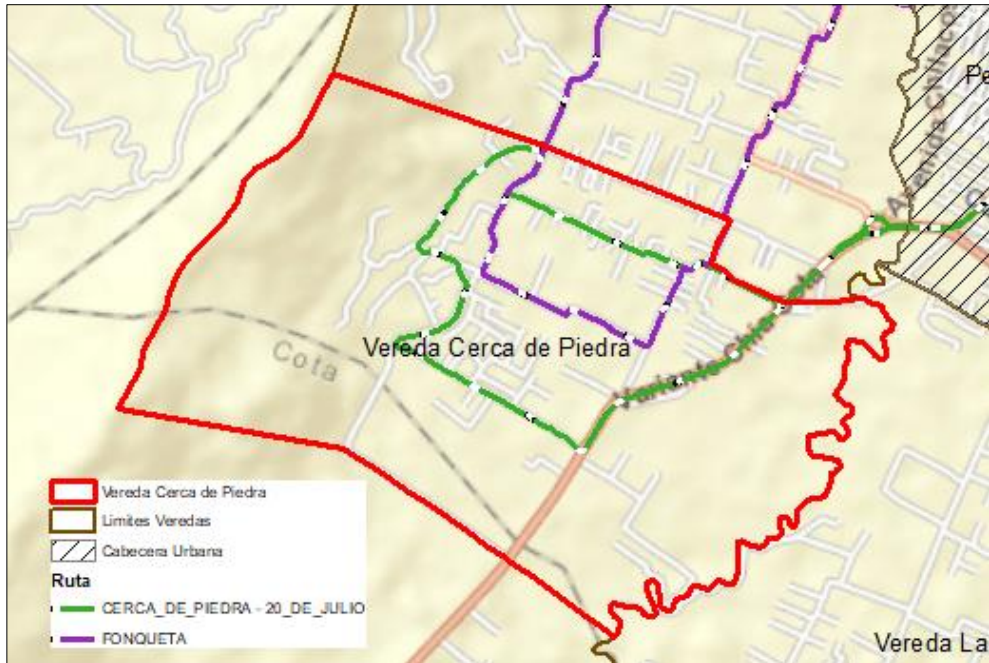


Ilustración 32. Rutas de transporte rural – Vereda Cerca de Piedra (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).

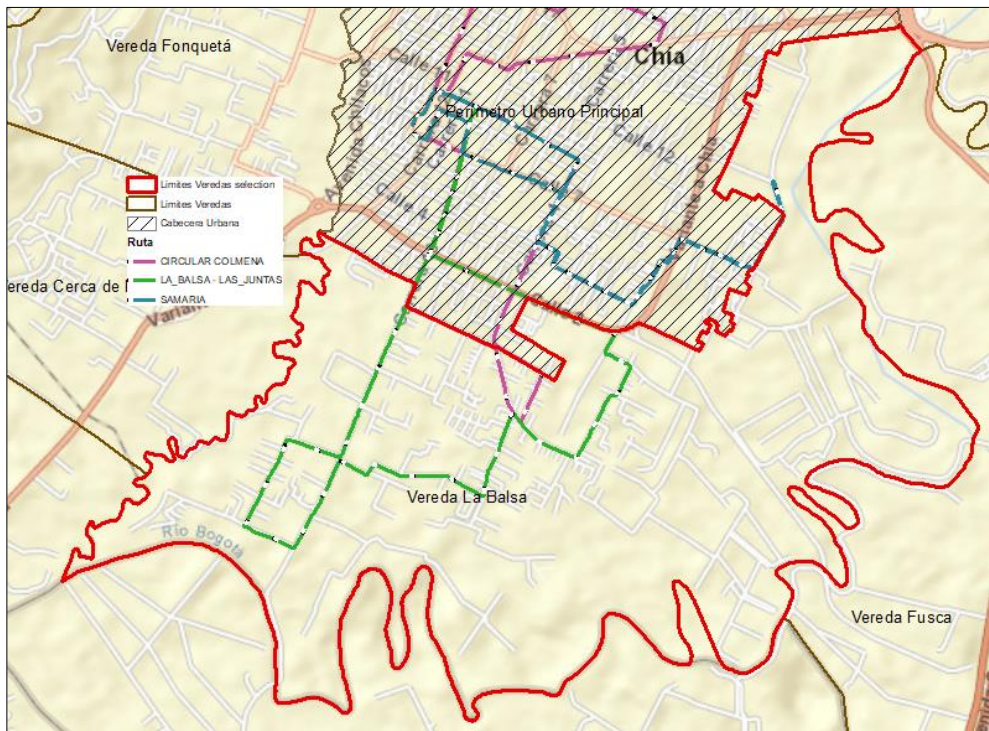


Ilustración 33. Rutas de transporte rural – Vereda La Balsa (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).

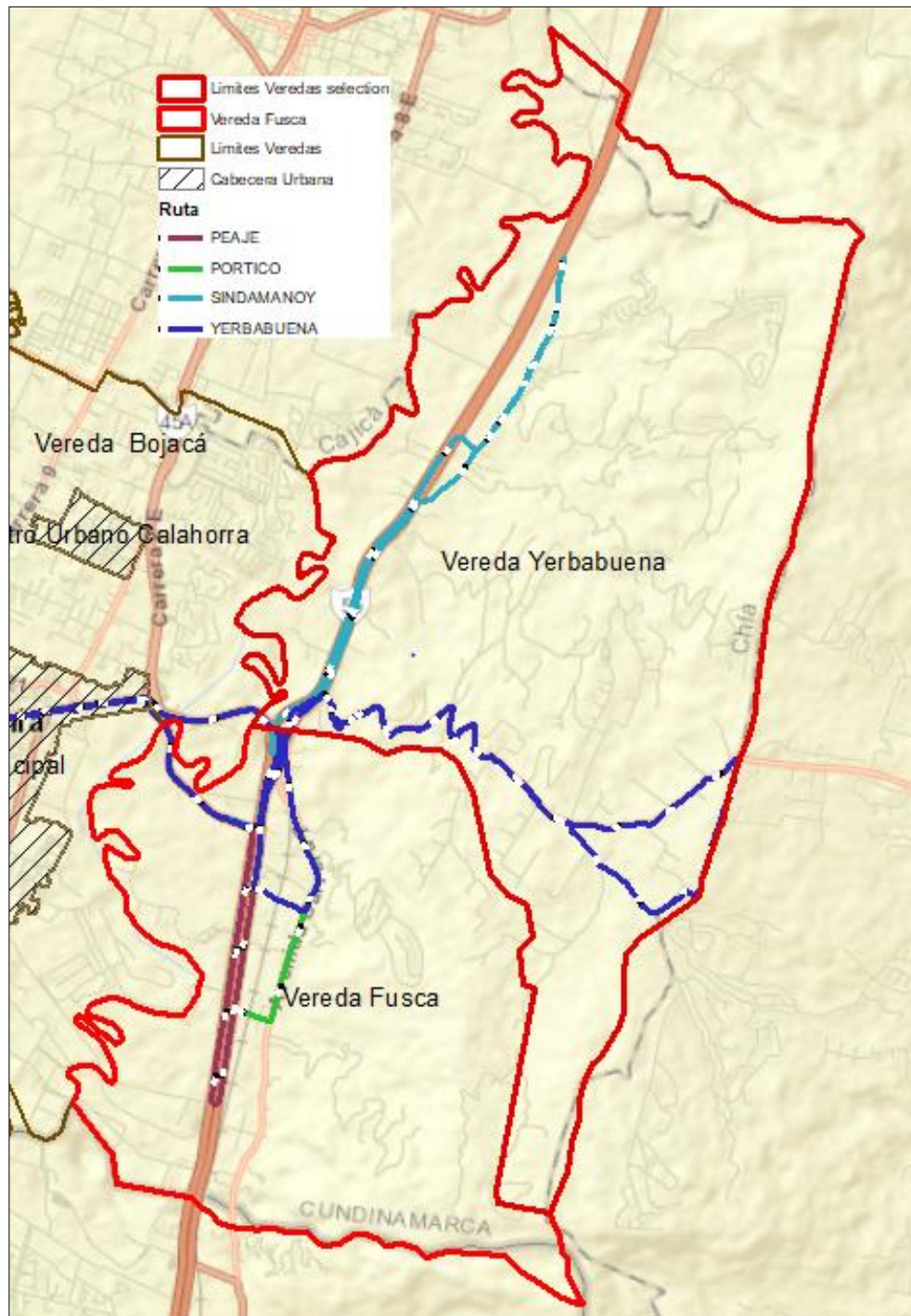


Ilustración 34. Rutas de transporte rural – Vereda Yerbabuena y Vereda Fusca (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).

▪ Etapa 2 - Desarrollo del análisis espacial.

En esta etapa se busca estructurar las diferentes variables y elementos que intervienen en el sistema. De acuerdo a los resultados obtenidos en la etapa anterior, con la identificación de los elementos del sistema se realizó el análisis espacial de los paraderos propuestos, teniendo en cuenta la importancia de estos, de acuerdo con la escala asignada, de esta manera, se determinó mediante HotSpots, esta herramienta identifica clusters espaciales estadísticamente significativos de valores altos (puntos calientes) y valores bajos (puntos fríos), (ArcGIS, 2021).

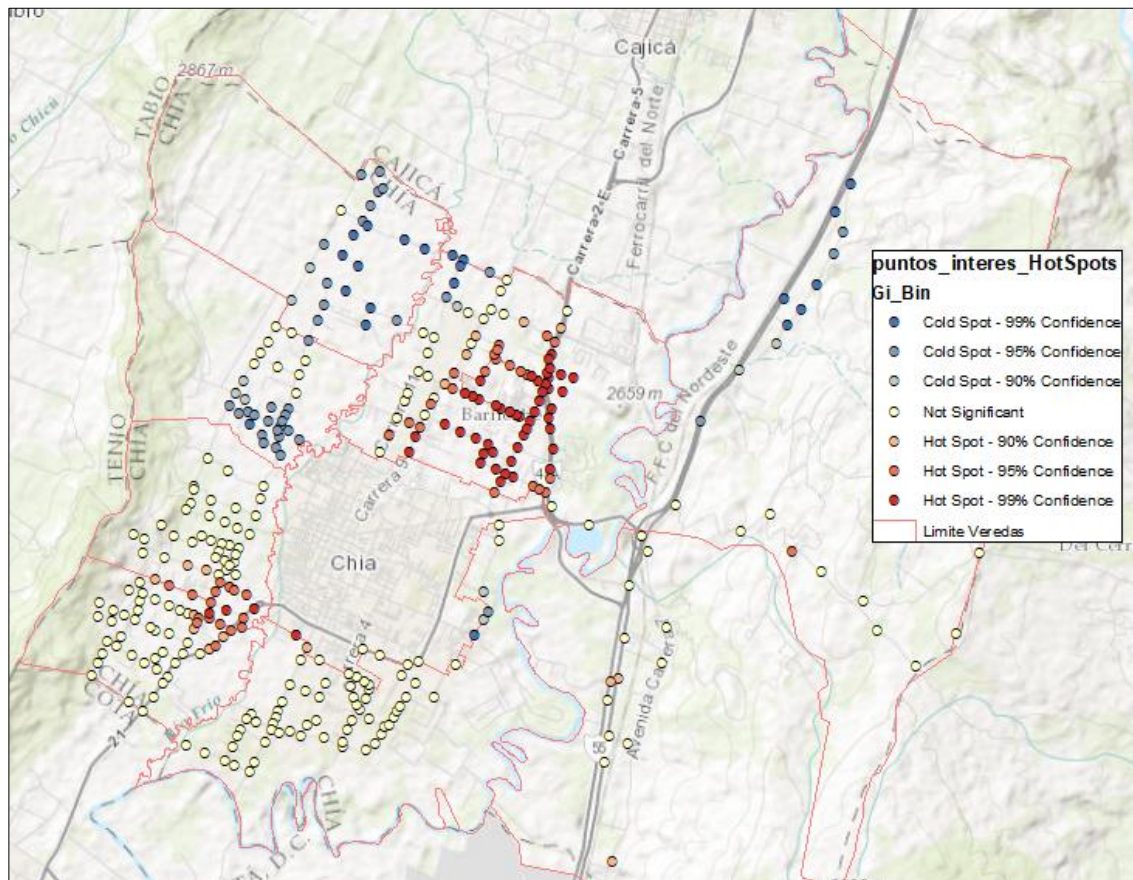


Ilustración 35. Puntos de interés - HotSpots (Elaboración Propia. Fuente: (Base Map ESRI, 2020)).

A su vez, con el informe de resumen del vecino más cercano promedio, se puede ver que estos datos están agrupados, donde el valor crítico con relación a estos es que hay poca población en unos y bastante población en otros, los datos analizados se comportan de manera normal, no hay variaciones adicionales.

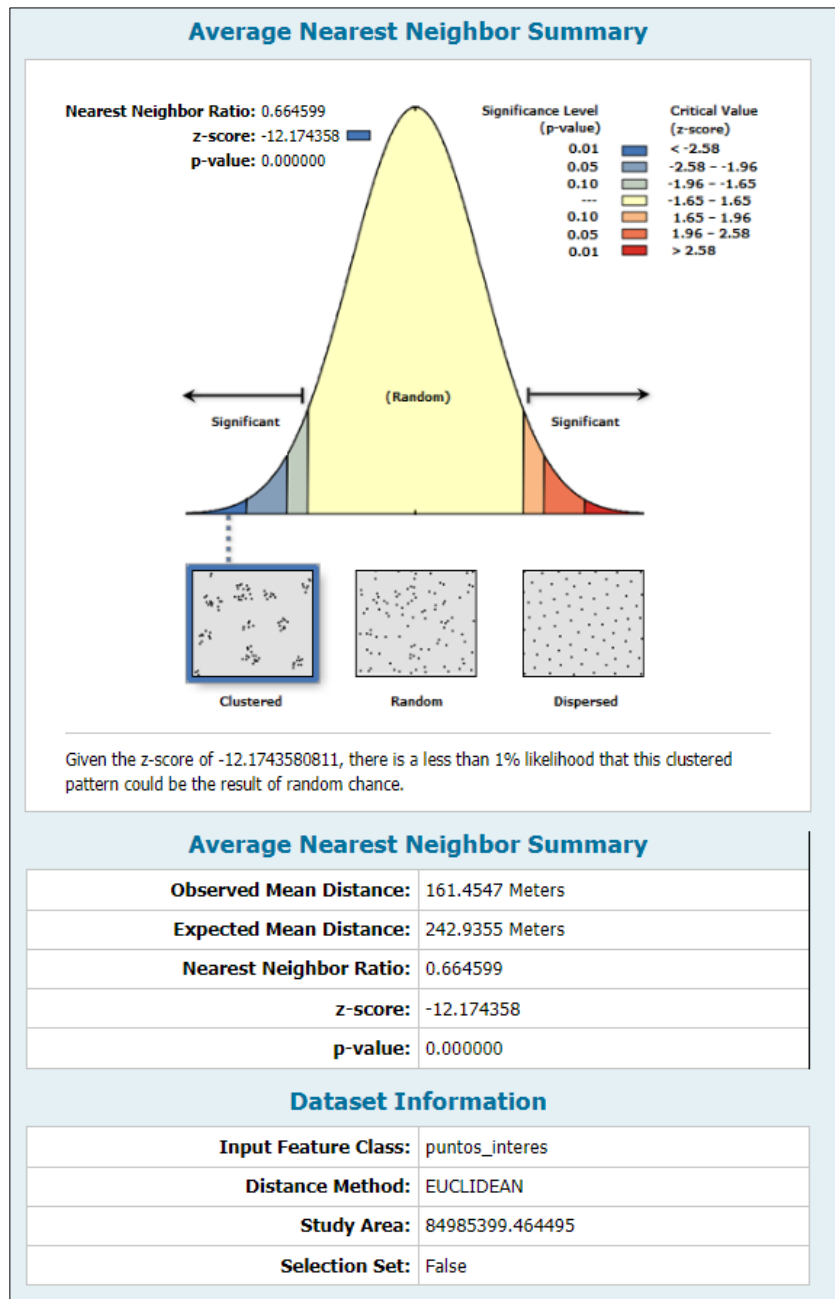


Ilustración 36. Resumen del vecino más cercano promedio (Elaboración Propia. Fuente: (ArcGIS, 2021)).

Por otro parte, se aplicó la herramienta de densidad de Kernel que consiste en calcular la densidad de las entidades en la vecindad de esas entidades, así para los puntos esta herramienta calcula la densidad de las entidades de punto alrededor de cada celda ráster de salida (ArcGIS, 2021).

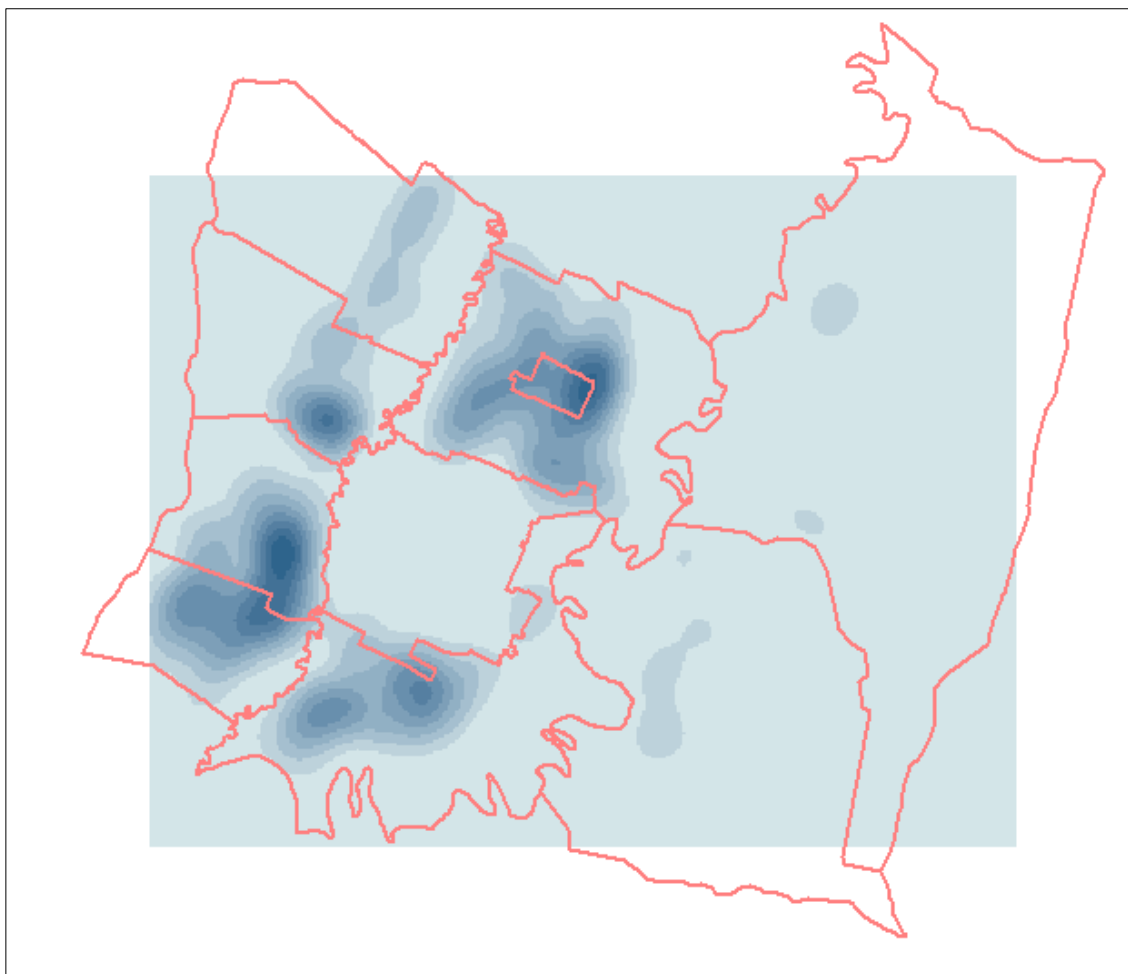


Ilustración 37. Densidad de Kernel (Elaboración Propia).

- **Etapas 3 - Diseño de rutas.**

Considerando los resultados conseguidos en las etapas anteriores y haciendo uso de la información obtenida se realizó la demarcación de las rutas, se tuvieron en cuenta

factores como la velocidad de las vías, la densidad de la población, en especial los paraderos y los usuarios que hacen uso del servicio.

Se realizó un análisis espacial mediante la herramienta “Spatial Join”, haciendo cruces de las capas de puntos de interés según la detección de puntos de mayor importancia y la capa malla vial considerando la velocidad máxima permitida sobre las vías, de esta manera se obtuvo como resultado una capa espacial tipo línea donde se resaltan las vías por donde deben ir las rutas, y a los lugares donde estas deben ir, teniendo en cuenta la cantidad de usuarios.

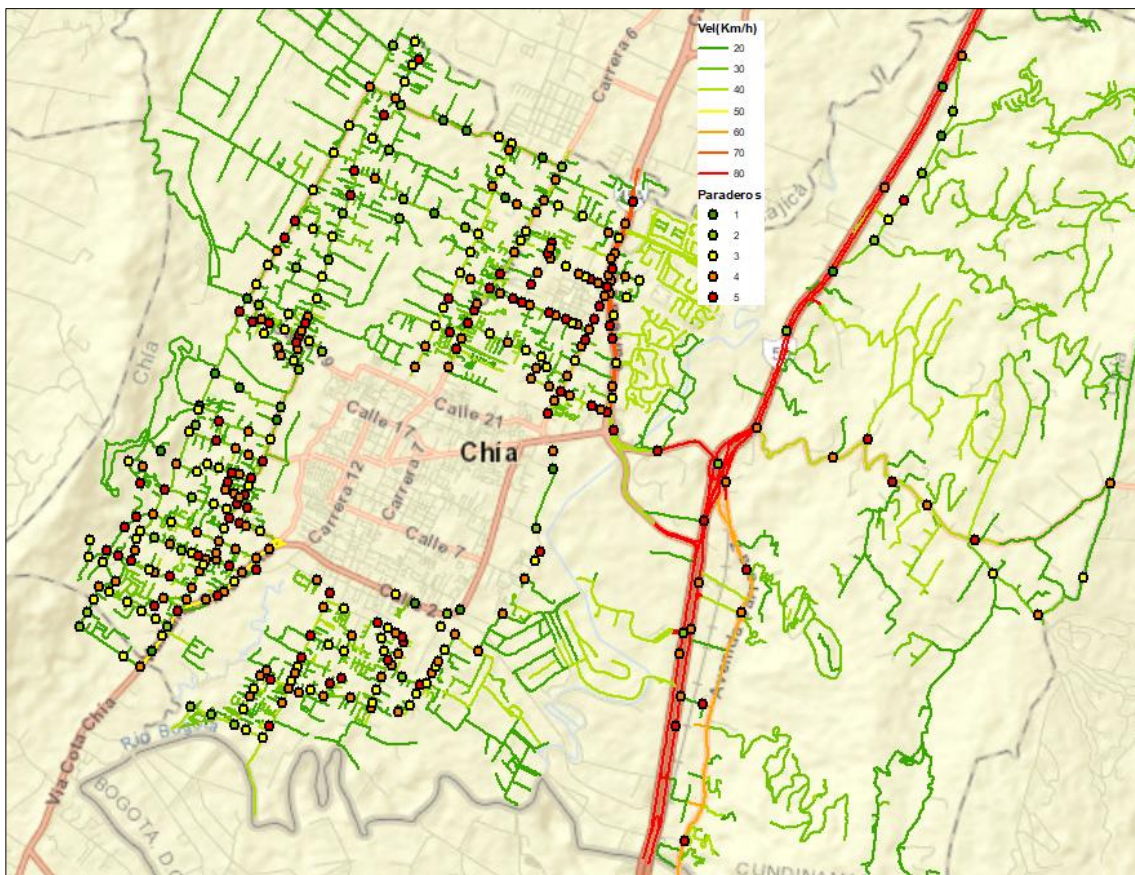


Ilustración 38. Malla vial – Puntos de interés. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) (Base Map ESRI, 2020)).

Cabe aclarar que, la información de la zona urbana no se tuvo en cuenta por lo cual establecieron paraderos o puntos de inicio y fin de las rutas al ingresar a la cabecera urbana del municipio.

En la ilustración 39, se muestran en escala de colores (rojo, amarillo, verde), las vías que deben estar cubiertas por una ruta de transporte público, según el número de usuarios, las características de velocidad y estado de estas vías es óptimo el trazo de estas rutas.

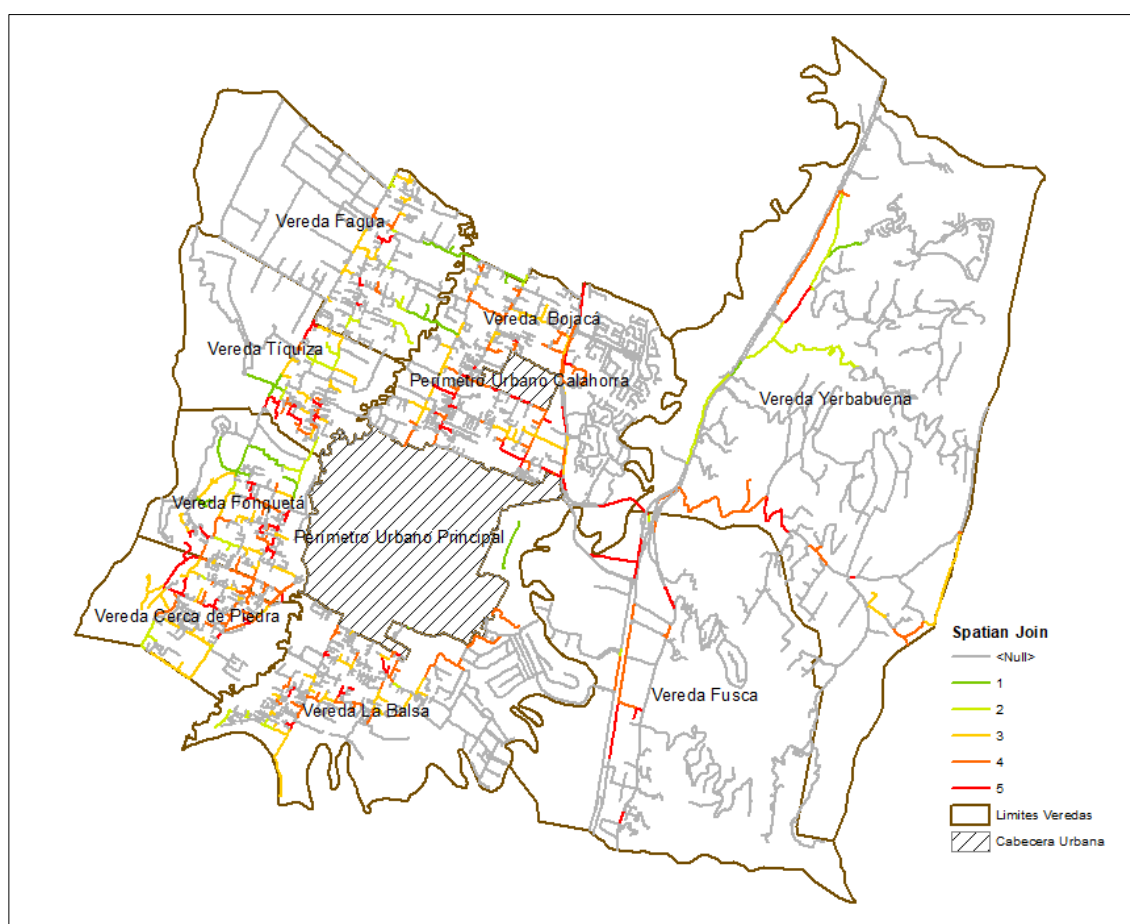


Ilustración 39. Spatial Join vías y paraderos. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

Tomando como base estos resultados se procedió a la demarcación de las rutas por cada vereda, buscando que no existieran traslapes entre las mismas, y su vez, mayor cobertura de estas. Como resultado se realizó el trazo de 18 rutas, de las cuales se

conservó el recorrido de 4 de estas, pues se encuentran sobre las veredas de Fusca y Yerbabuena, donde se localizan los cerros orientales del municipio y existe limitación de vías públicas, puesto que se encuentra la autopista norte, donde los usuarios tienen más acceso al transporte, ya que esta es la entrada principal al municipio de Chía desde la ciudad de Bogotá.

NUMERO	NOMBRE RUTA	DISTANCIA (km)	Tiempo estimado de recorrido (min)
1	FONQUETA 1	4.7	12
2	FONQUETA 2	3.7	10
3	CERCA DE PIEDRA 1	4.1	11
4	CERCA DE PIEDRA 2	4.9	13
5	TIQUIZA 1	4.2	11
6	TIQUIZA 2	4.1	11
7	FAGUA 1	5.3	14
8	FAGUA 2	11.7	26
9	BOJACÁ 1	6.2	15
10	BOJACÁ 2	5.9	15
11	BOJACÁ 3	5.3	14
12	LA BALSA 1	2.6	8
13	LA BALSA 2	3.7	10
14	LA BALSA 3	4	11
15	FUSCA 1	8.8	21
16	FUSCA 1	9.6	22
17	YERBABUENA 1	20	43
18	YERBABUENA 2	14.2	31

Tabla 6. Rutas de transporte rural Propuestas (Elaboración Propia).

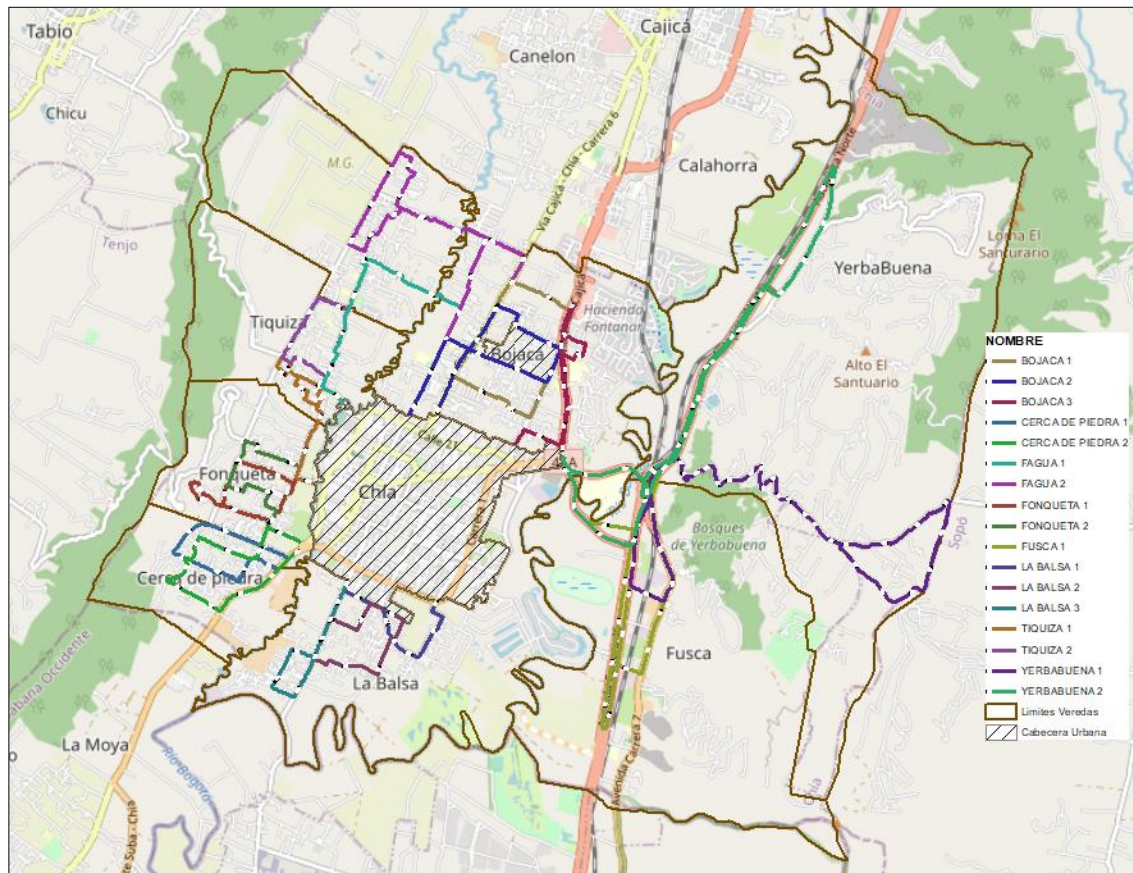


Ilustración 40. Rutas de transporte público rural Propuestas. (Elaboración Propia. Fuente (Base Map ESRI, 2020)).

▪ Etapa 4 - Estructurar y analizar de los resultados.

Ahora bien, de acuerdo a los resultados obtenidos en las etapas anteriores se realiza la visualización y descripción de cada una de las rutas resultantes por cada una de las veredas, de esta manera se describen las 18 rutas que se establecieron, todas con el fin de transportar a los usuarios de los puntos de interés establecidos de la zona rural a la zona urbana del municipio.

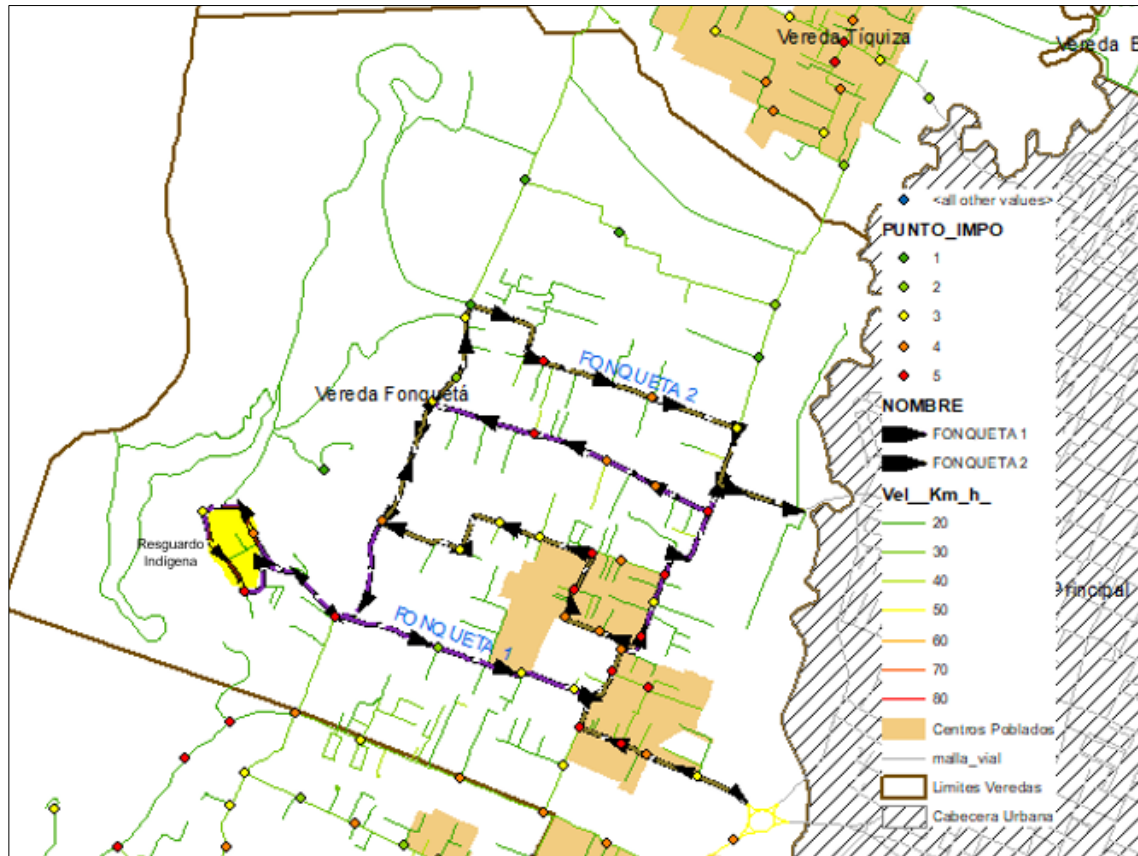


Ilustración 41. Rutas de transporte público rural Propuestas- Vereda Fonquetá. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

En la ilustración 41, se muestra el trazado propuesto para las rutas de la vereda Fonquetá donde se determinan dos rutas de transporte público, por lo tanto, se hace cubrimiento a la totalidad de usuarios que se tienen, a su vez, se puede observar que las rutas están trazadas pasando por los centros poblados y también por los puntos establecidos como de interés, igualmente, se puede observar que una de las rutas se establece por el punto señalado como resguardo indígena de Chía, donde existe mayor número de usuarios y no se tenía acceso al servicio. Teniendo en cuenta la información de la velocidad de la malla vial y la distancia de la ruta, se calcula un tiempo de recorrido estimando para cada una de las rutas de la siguiente manera: Ruta FONQUETA 1, tiempo de recorrido de 12 minutos y la Ruta FONQUETA 2, tiempo de recorrido de 10 minutos.

Para la vereda Cerca de Piedra se realizó el trazado de dos rutas de transporte rural, se consideró que sobre esta vereda se ubica en la malla vial parte de la variante, esta vía es la salida del municipio de Chía al municipio vecino de Cota, y a su vez a Bogotá, por esta razón se definió solo el paso de una ruta sobre esta vía, no obstante, el regreso de la misma pasando por parte la vereda Fonquetá, con el fin de no generar mayor congestión vehicular en esta vía. Las rutas establecidas están determinadas con el fin de transportar la mayor cantidad de usuarios, disminuir los tiempos y no tener traslapes entre las mismas, en el mismo sentido vial; si bien estas rutas se traslapan en algún segmento de vía, se encuentran en diferente sentido vial esto con el fin de tener mayor oferta a los usuarios y menor tiempo de recorrido.

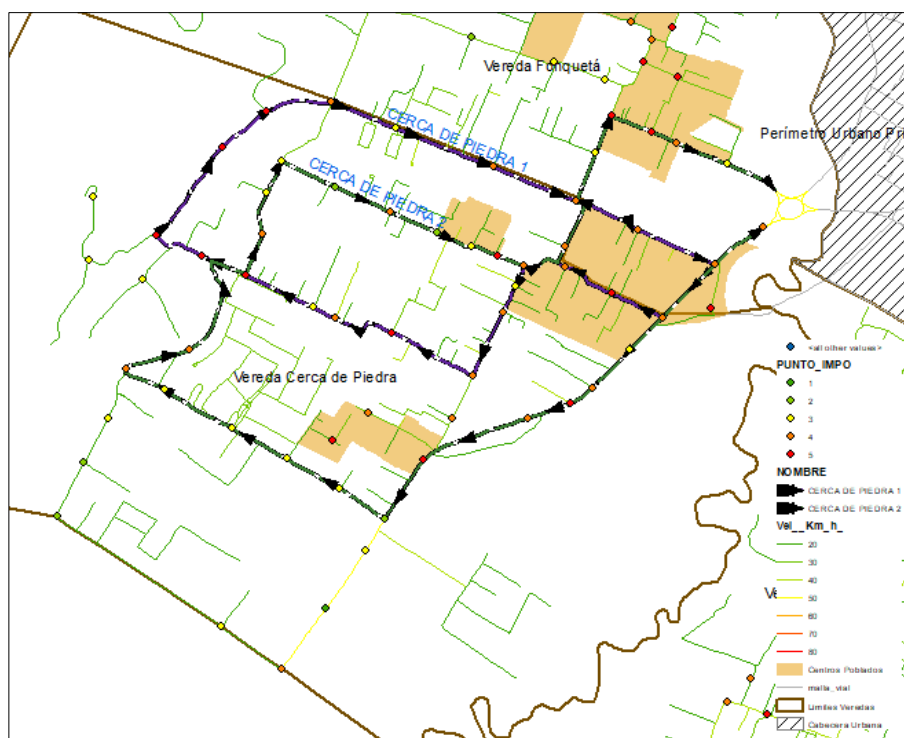


Ilustración 42. Rutas de transporte público rural Propuestas - Vereda Cerca de Piedra. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

Con la información recolectada de la distancia y la velocidad estimada de la malla vial se determinó la velocidad para cada ruta de la vereda Cerca de Piedra, de esta manera la

Ruta CERCA DE PIEDRA 1, tiene un tiempo estimado de recorrido de 11 minutos y la ruta CERCA DE PIEDRA 2, tiene un tiempo estimado de recorrido de 13 minutos, estos tiempos de recorrido se determinan tomando como punto de inicio y fin los puntos establecidos más cercanos a la zona urbana del municipio.

En la ilustración 43 se muestra el trazado de dos rutas establecidas para la vereda Tiquiza, aunque es adyacente a la zona urbana del municipio tiene solo entrada y salida por un puente vehicular que cruza el río, de esta manera, y para determinar el trazado de las rutas se definió para una de estas que la salida se realiza pasando por la vereda Fonquetá, pero sin traslapar con las rutas establecidas para esta vereda. Así, se busca que las rutas de esta vereda al igual que las demás, inicien y finalicen sus recorridos al ingreso de la zona urbana, también circulen por los centros poblados de la vereda, para cubrir la mayor cantidad de usuarios.

Análogamente, de acuerdo con la información obtenida de distancia y velocidad permitida, se calculó el tiempo de recorrido estimado para las dos rutas, de esta manera para las rutas TIQUIZA 1 y TIQUIZA 2, que tiene una distancia de recorrido de 8.4 km y 8.2 km respectivamente, se determinó el tiempo de recorrido estimado de 11 min, iniciando y finalizando en la zona urbana del municipio.

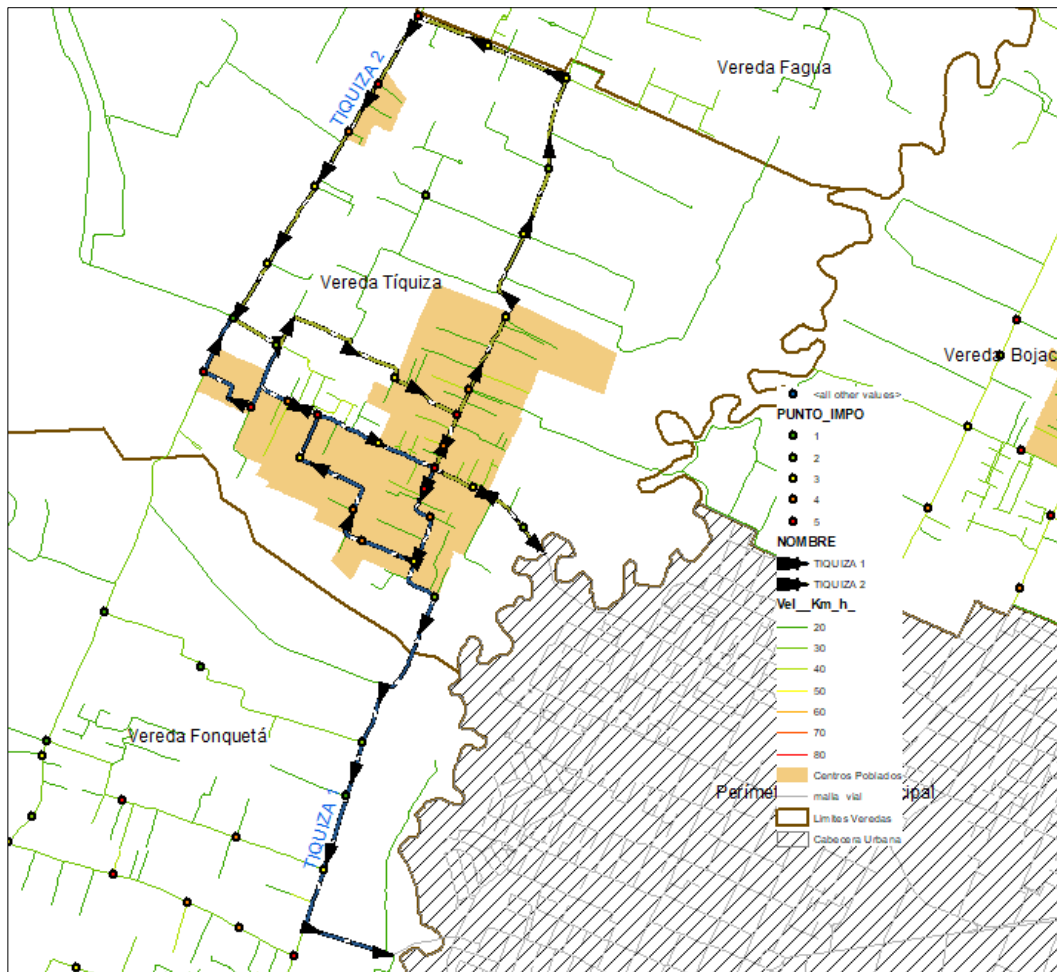


Ilustración 43. Rutas de transporte público rural Propuestas - Vereda Tiquiza. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

Del mismo modo, de acuerdo al análisis de las variables para la Vereda Fagua se establecieron dos rutas, esta vereda no es adyacente a la zona urbana, adicionalmente tiene un número considerable de usuarios, por lo tanto, se establecen los trazados de las rutas pasando por las veredas adyacentes a esta, para la ruta FAGUA 1, se realiza el ingreso por la vereda Bojacá y el retorno a la zona urbana por la vereda Tiquiza, se busca que las rutas no se traslapen con la ruta de estas veredas, si existe traslape que sea en diferente sentido vial. Para la FAGUA 2, se establece el paso por los dos centros poblados más distantes de la zona urbana, por lo que se propone el ingreso y finalización de esta ruta por la vereda Bojacá.

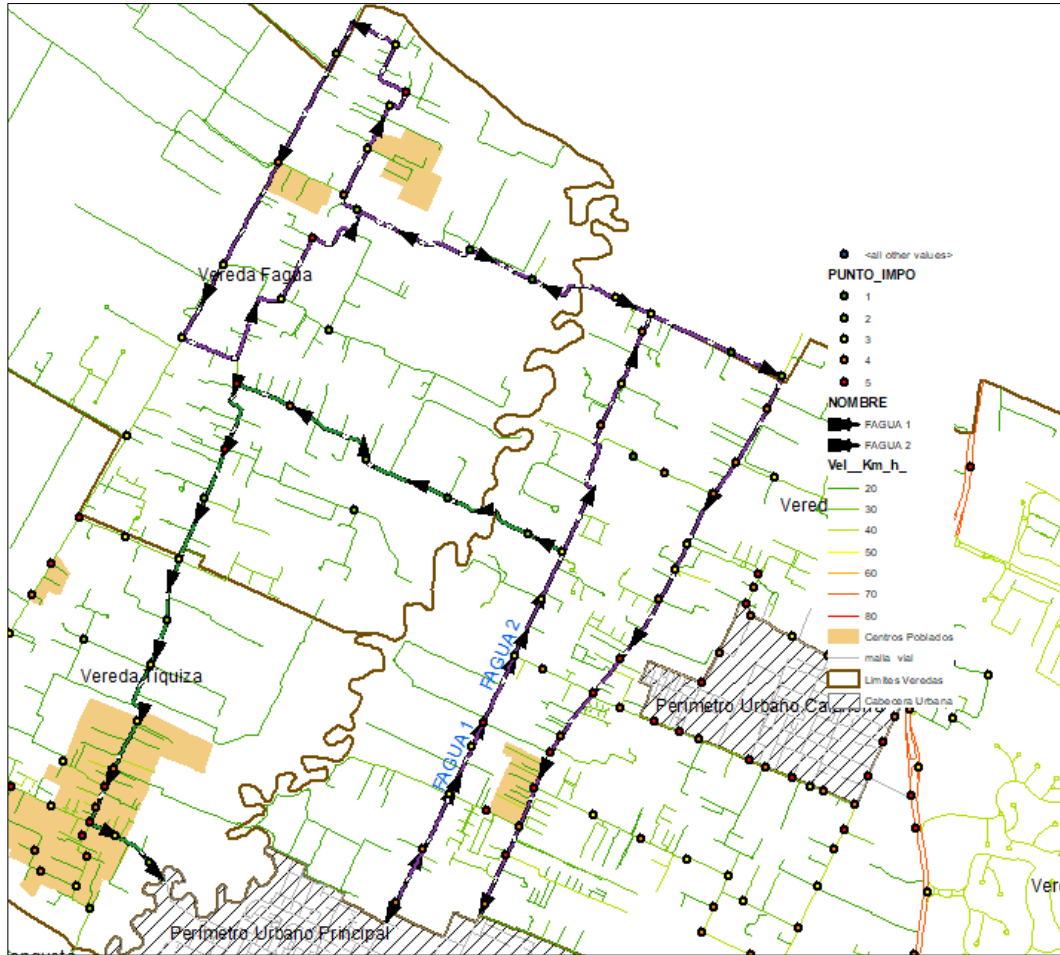


Ilustración 44. Rutas de transporte público rural Propuestas - Vereda Fagua. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

De acuerdo a la información de distancia y velocidad, se calcula un tiempo estimado de recorrido para cada una de las rutas, por ello, para la ruta FAGUA 1, la cual tiene una distancia de recorrido de 10.6 km, se determinó un tiempo de recorrido de 14 minutos y para la ruta FAGUA 2, que tiene una distancia de 23.4 km se determinó un tiempo de recorrido estimado de 26 minutos.

Para la vereda Bojacá se tiene en cuenta un factor adicional, en su zona geográfica se encuentra el corregimiento urbano denominado Calahorra, considerando este aspecto, se determina que existe mayor número de usuarios que se requieren desplazar a la cabecera urbana principal de este municipio, por esta razón, se determinan tres rutas.

Se determina el inicio y fin de las rutas BOJACÁ 1 Y BOJACÁ 2, por vía denominada carrera 9, que a su vez es una vía secundaria que comunica al municipio de Chía con el municipio vecino de Cajicá. Para la ruta BOJACÁ 3, se determina su recorrido sobre la vía principal o variante que comunica al municipio de Chía con Cajicá pasando por puntos de interés que se destacan como son el Centro comercial Centro Chía y el Centro Comercial Fontanar.

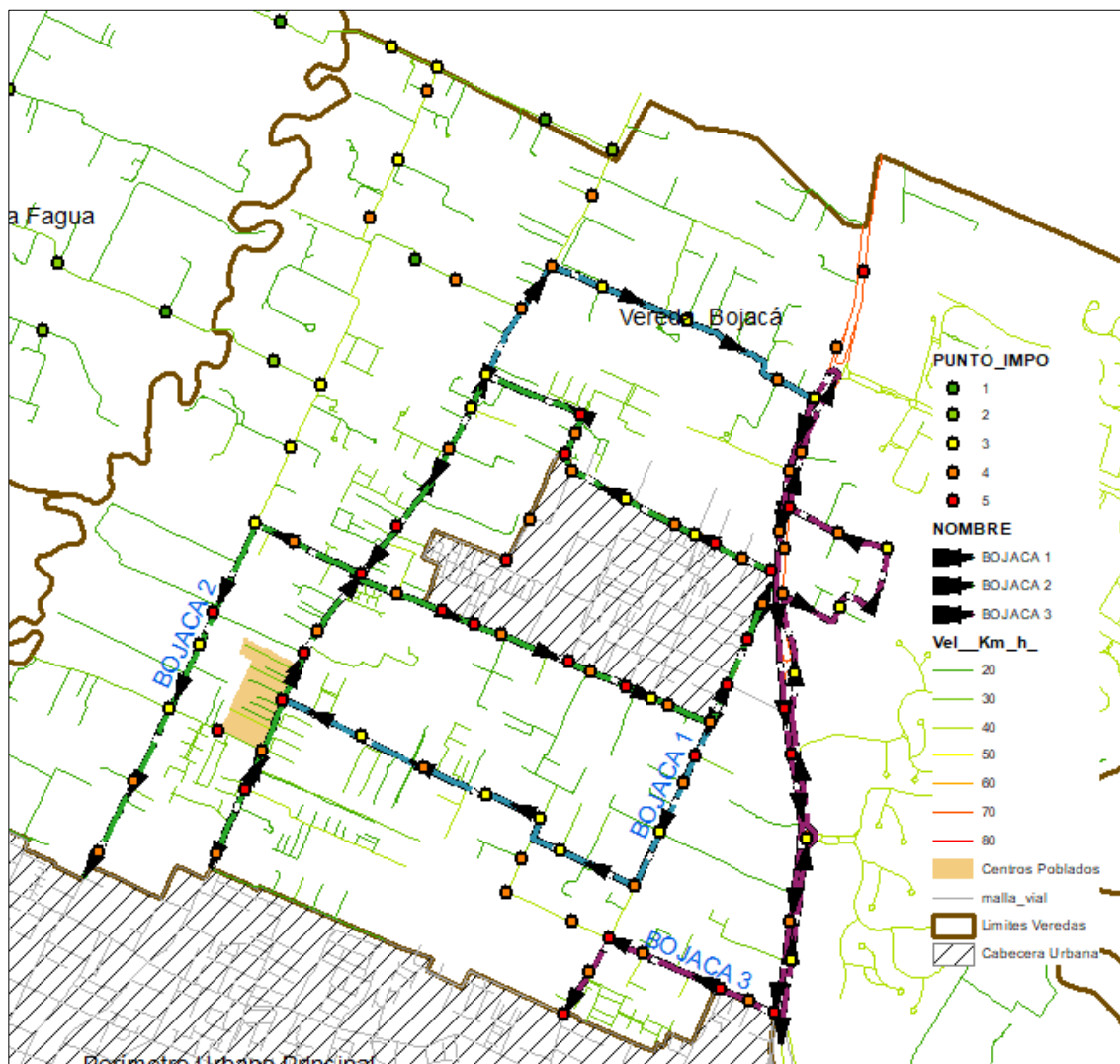


Ilustración 45. Rutas de transporte público rural Propuestas - Vereda Bojacá. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

Con información de la distancia y velocidad permitida de la malla vial se determinó el tiempo de recorrido estimado para cada una de las rutas, por lo tanto, para la ruta BOJACÁ 1, con una distancia de 12.4 km, se determinó un tiempo de recorrido estimado de 15 minutos, para la ruta BOJACÁ 2, la distancia es de 11.8 km y el tiempo estimado es de 15 minutos, y por último para la ruta BOJACÁ 3, la distancia es 10.6 Km, y el tiempo de recorrido estimado es de 14 minutos.

En la ilustración 46 se muestra el trazado establecido para tres rutas de transporte de la vereda La Balsa, se determinó el inicio y fin de las rutas especialmente por la carrera 10 del municipio que a su vez en la zona rural es denominada la vía Guaymaral, esta vía comunica al municipio con la ciudad de Bogotá es una vía alterna a la autopista norte, para la ruta LA BALSA 1, se inicia por la vía la variante y se finaliza el recorrido sobre la carrera 10, para la ruta LA BALSA 2 se inicia y finaliza el recorrido sobre la vía la variante, y por último para la ruta LA BALSA 3, el recorrido inicia y finaliza sobre la carrera 10.

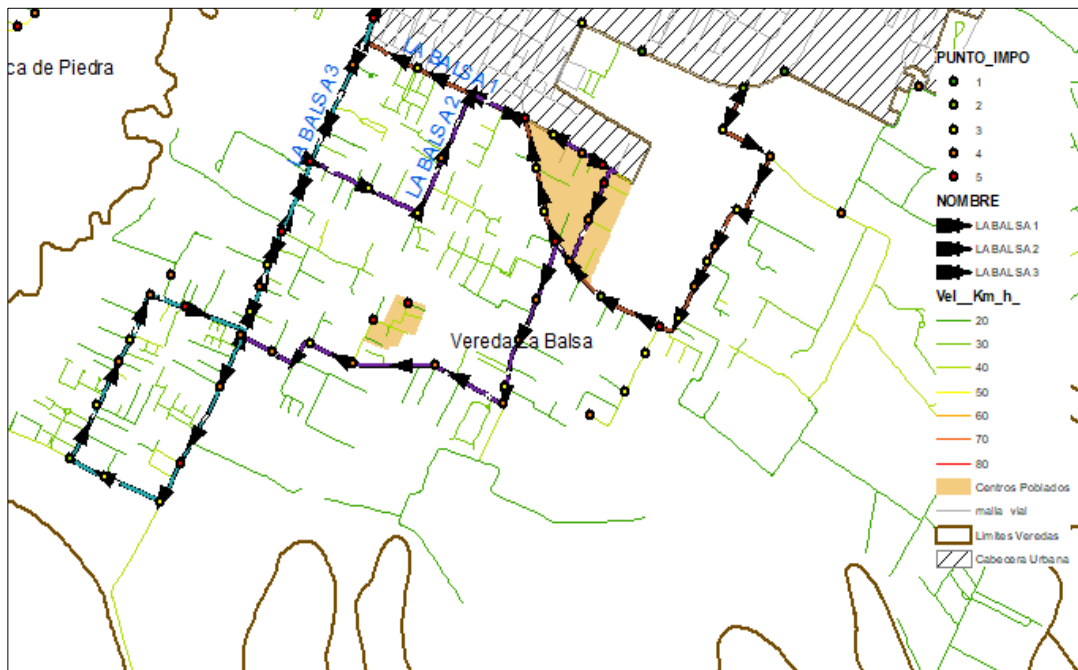


Ilustración 46. Rutas de transporte público rural Propuestas - Vereda La Balsa. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

Para las rutas de la vereda La Balsa se determina el tiempo de recorrido teniendo en cuenta la distancia y la velocidad máxima permitida para cada una de estas vías, para la ruta denominada LA Balsa 1, que tiene una distancia de 2.6 km, se calcula un tiempo de recorrido de 8 minutos, considerando que esta es la ruta de menos distancia y aunque su recorrido no es mayor rodea un centro poblado donde hay mayor número de usuarios, además, para la ruta LA Balsa 2, que tiene una distancia de 7.4 km, se estima un tiempo de recorrido de 10 minutos, y por último para la ruta LA Balsa 3, que tiene una distancia de 8 km, se calcula y estima un tiempo de recorrido de 11 minutos.

Como se indicó en el diseño de las rutas para las veredas de Fusca y Yerbabuena se conservaron las rutas ya establecidas actualmente, puesto que para estas veredas se presentan restricciones con el acceso a las vías, ya que esta zona hace parte de los cerros orientales del municipio y algunas vías son privadas de acceso a condominios o son vías cerradas.

A continuación, en la ilustración 47, se muestran el trazado de las rutas para las veredas de Fusca y Yerbabuena a las cuales no se les hizo ningún tipo de cambios en sus recorridos.

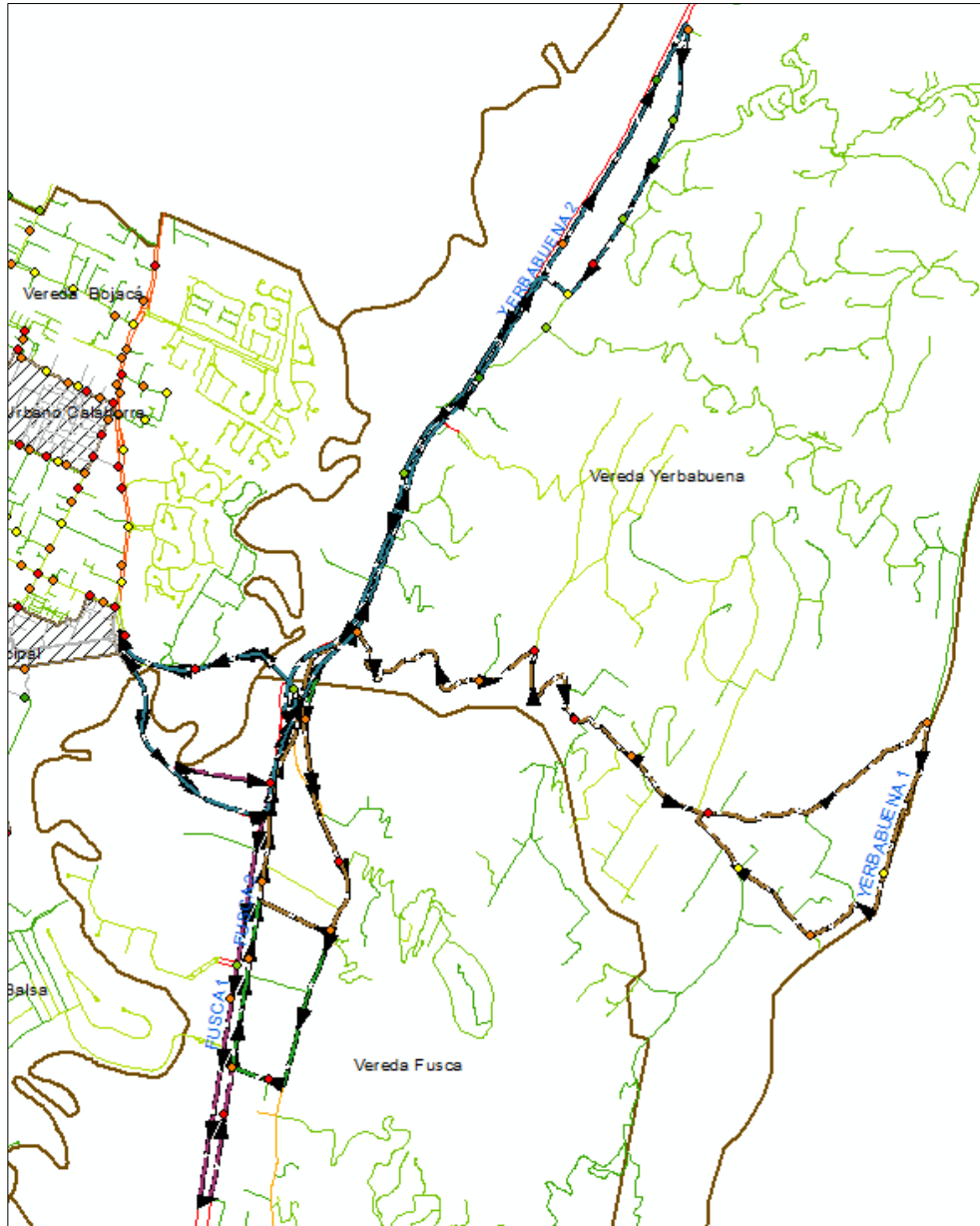


Ilustración 47. Rutas de transporte público rural - Vereda Fusca y Vereda Yerbabuena. (Elaboración Propia. Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

8. Resultados

8.1. Resultados alcanzados

Como resultados de este trabajo se obtuvieron, inicialmente, la identificación de las diferentes variables del sistema de transporte, con esta información se realizó el análisis, estructuración y trazado de las nuevas rutas, con el fin de establecer las mejoras en tiempo, distancia y beneficio a los usuarios de las mismas, a continuación, se realiza una comparación de las rutas existentes y las rutas propuestas para cada una de las veredas del municipio de Chía.

Para todas las veredas las rutas establecidas actualmente se encuentran traslapadas en algunos segmentos de vía con el mismo sentido vial, lo que genera congestión de las vías, en las rutas propuestas se estableció que las rutas en su mayoría no se debían traslapar y si exista traslapes estos no estuvieran en el mismo sentido vial, para evitar congestiones en las vías.

Se estableció el trazado de 18 rutas de transporte, 2 rutas más de las que se tienen establecidas actualmente en el sistema.

Realizando la comparación de las rutas para la vereda Fonquetá, se obtiene mayor cubrimiento de las rutas propuestas y menos tiempo de recorrido de las mismas en comparación con las rutas actuales establecidas.

NOMBRE RUTA		DISTANCIA (km)	Tiempo estimado de recorrido (min)
FONQUETA 1	Actual	7.7	35
	Propuesta	7.4	12
FONQUETA 2	Actual	4.9	30
	Propuesta	3.7	10

Tabla 7. Comparación de rutas para la vereda Fonquetá (Elaboración Propia).

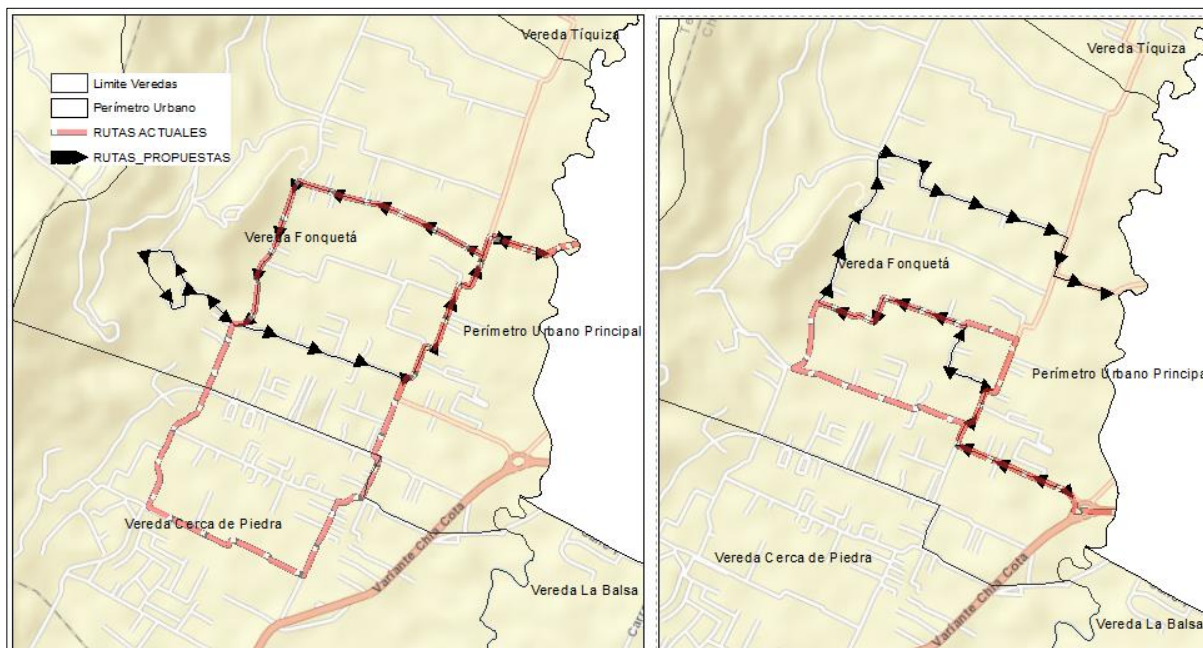


Ilustración 48. Comparación de rutas para la vereda Fonquetá (Elaboración Propia. Fuente: (Base Map ESRI, 2020)).

Para la vereda Cerca de Piedra se establecieron dos rutas propuestas y en las rutas actuales solo se cuenta con una ruta que adicional a recorrer vías de la vereda Cerca de Piedra se conecta con la zona urbana del municipio, lo que genera más tiempo en los recorridos.

NOMBRE RUTA		DISTANCIA (km)	Tiempo estimado de recorrido (min)
CERCA DE PIEDRA 1	Actual	19.1	70
	Propuesta	4.1	11
CERCA DE PIEDRA 2	Actual	N/A	N/A
	Propuesta	4.9	13

Tabla 8. Comparación de rutas para la vereda Cerca de Piedra (Elaboración Propia).

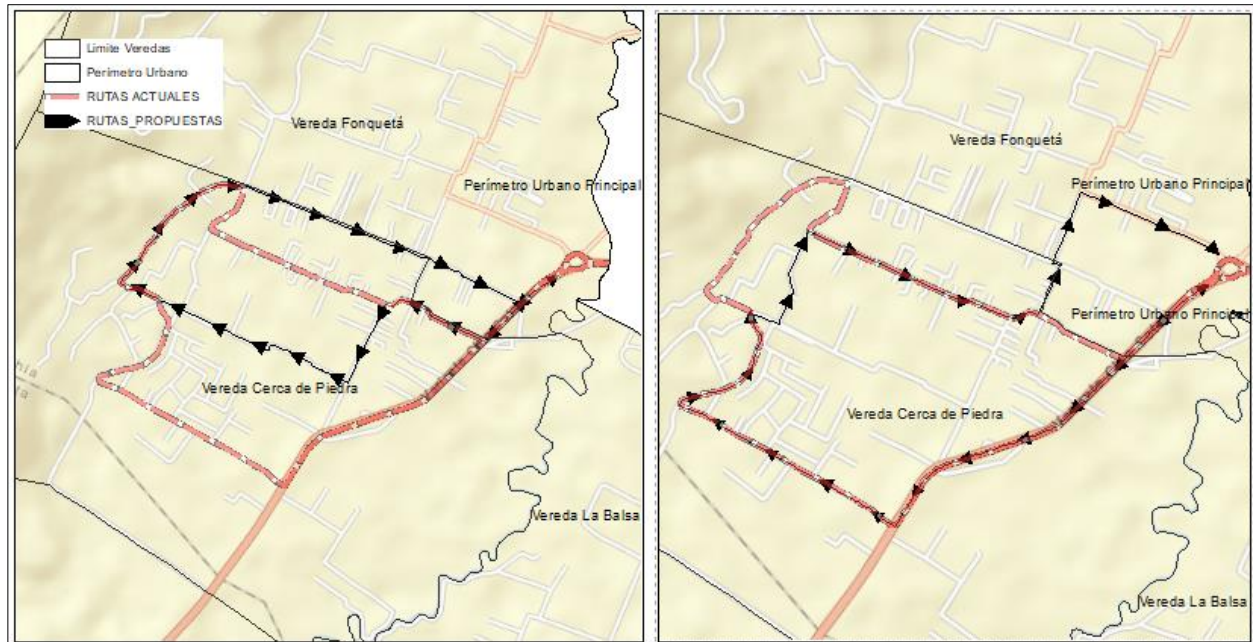


Ilustración 49. Comparación de rutas para la vereda Cerca de Piedra (Elaboración Propia.
Fuente: (Base Map ESRI, 2020)).

En la vereda Tiquiza se cuenta actualmente en el sistema de transporte con una ruta, se realizó la propuesta con el trazado de dos rutas, de esta manera se tiene mayor cubrimiento y menor tiempo de recorrido de las mismas.

NOMBRE RUTA		DISTANCIA (km)	Tiempo estimado de recorrido (min)
TIQUIZA 1	Actual	8.4	35
	Propuesta	4.2	11
TIQUIZA 2	Actual	N/A	N/A
	Propuesta	4.1	11

Tabla 9. Comparación de rutas para la vereda Tiquiza (Elaboración Propia).

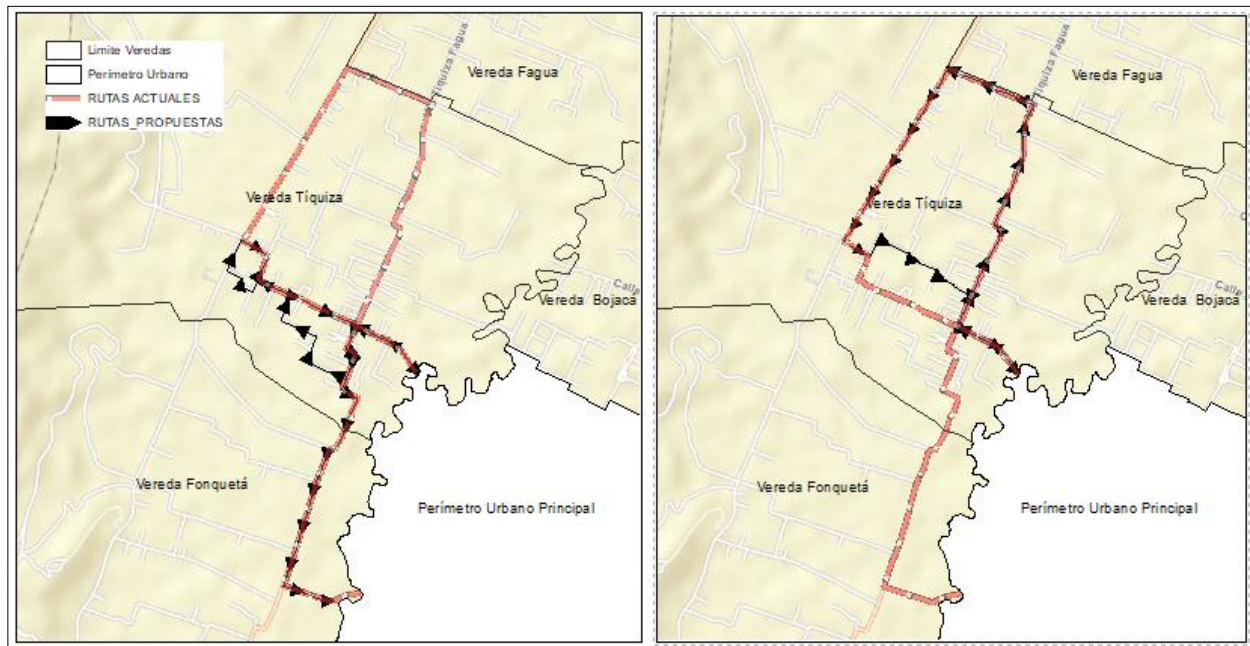


Ilustración 50. Comparación de rutas para la vereda Tiquiza (Elaboración Propia. Fuente: (Base Map ESRI, 2020)).

Para la vereda Fagua se proponen dos rutas demarcadas, de tal manera que no se traslapen entre sí como sucede con las actuales para obtener un mejor cubrimiento y tránsito de las mismas.

NOMBRE RUTA		DISTANCIA (km)	Tiempo estimado de recorrido (min)
FAGUA 1	Actual	14.1	50
	Propuesta	5.3	14
FAGUA 2	Actual	13.1	50
	Propuesta	11.7	26

Tabla 10. Comparación de rutas para la vereda Fagua (Elaboración Propia).

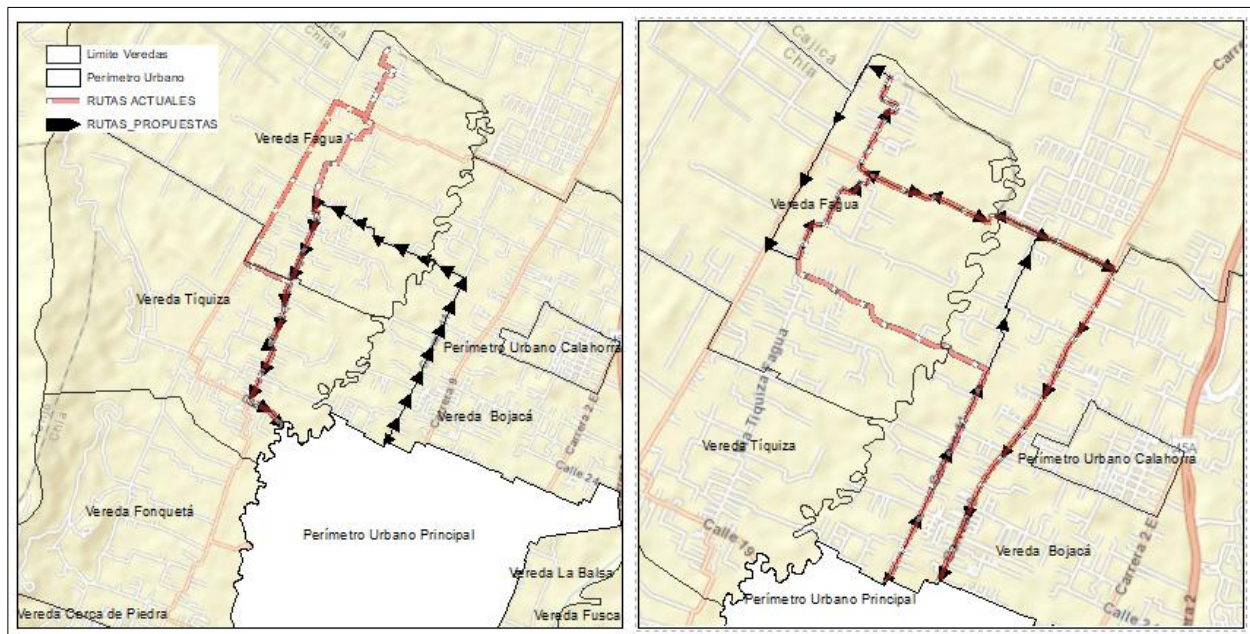


Ilustración 51. Comparación de rutas para la vereda Fagua (Elaboración Propia. Fuente: (Base Map ESRI, 2020)).

En la vereda Bojacá se tienen establecidas tres rutas, se proponen tres rutas teniendo en cuenta las variables y condiciones ya establecidas, con el fin de brindar un mejor servicio.

NOMBRE RUTA		DISTANCIA (km)	Tiempo estimado de recorrido (min)
BOJACÁ 1	Actual	10	35
	Propuesta	6.2	15
BOJACÁ 2	Actual	10.3	45
	Propuesta	5.9	15
BOJACÁ 3	Actual	18.2	60
	Propuesta	5.3	14

Tabla 11. Comparación de rutas para la vereda Bojacá (Elaboración Propia).

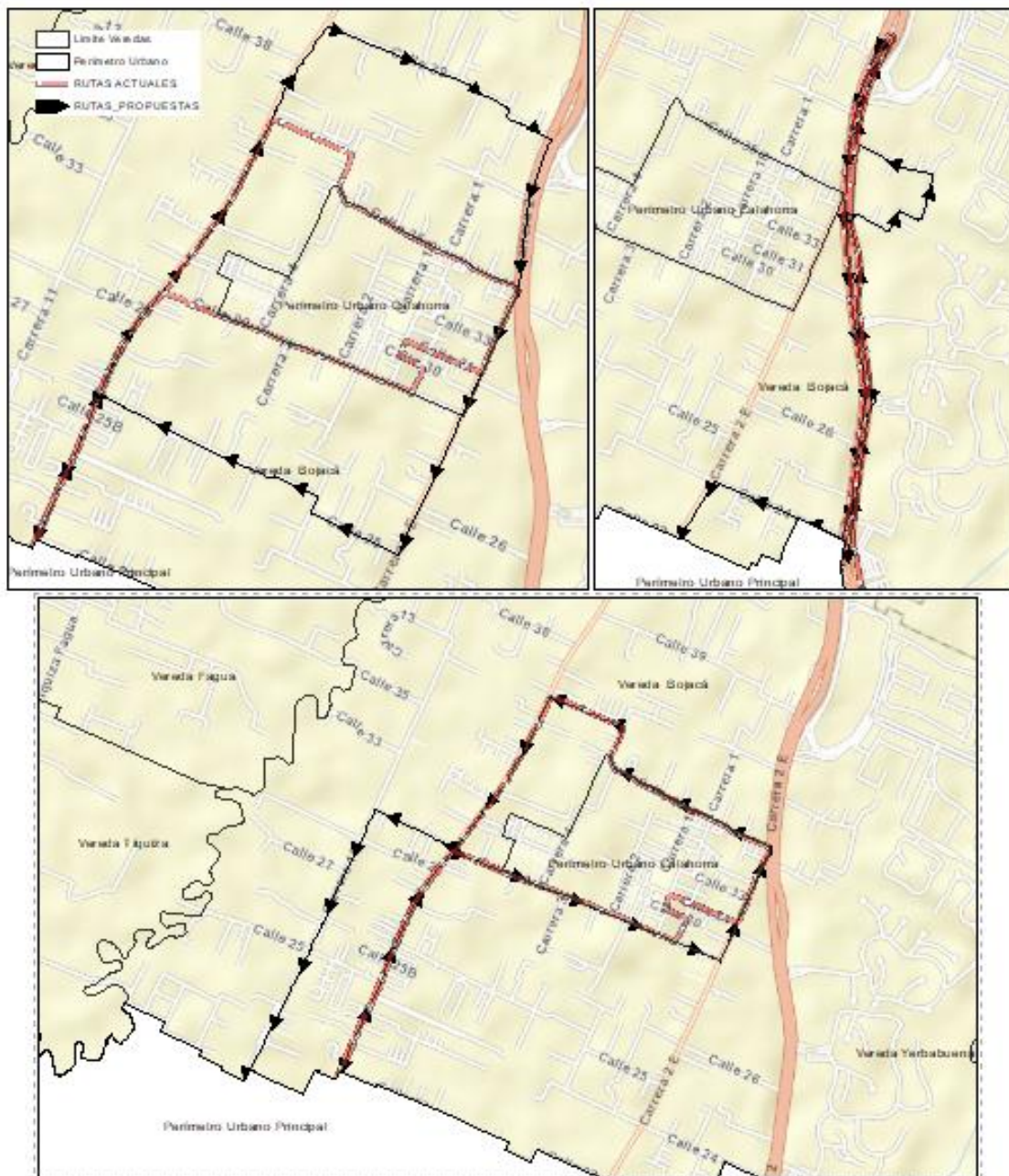


Ilustración 52. Comparación de rutas para la vereda Bojacá (Elaboración Propia. Fuente: (Base Map ESRI, 2020)).

Para la vereda La Balsa se tienen actualmente tres rutas de transporte público, se propone el trazado de tres rutas disminuyendo el tiempo de recorrido y distancia recorrida.

NOMBRE RUTA		DISTANCIA (km)	Tiempo estimado de recorrido (min)
LA BALSA 1	Actual	7.9	50
	Propuesta	2.6	8
LA BALSA 2	Actual	8.7	30
	Propuesta	3.7	10
LA BALSA 3	Actual	9.8	45
	Propuesta	4	11

Tabla 12. Comparación de rutas para la vereda La Balsa (Elaboración Propia).

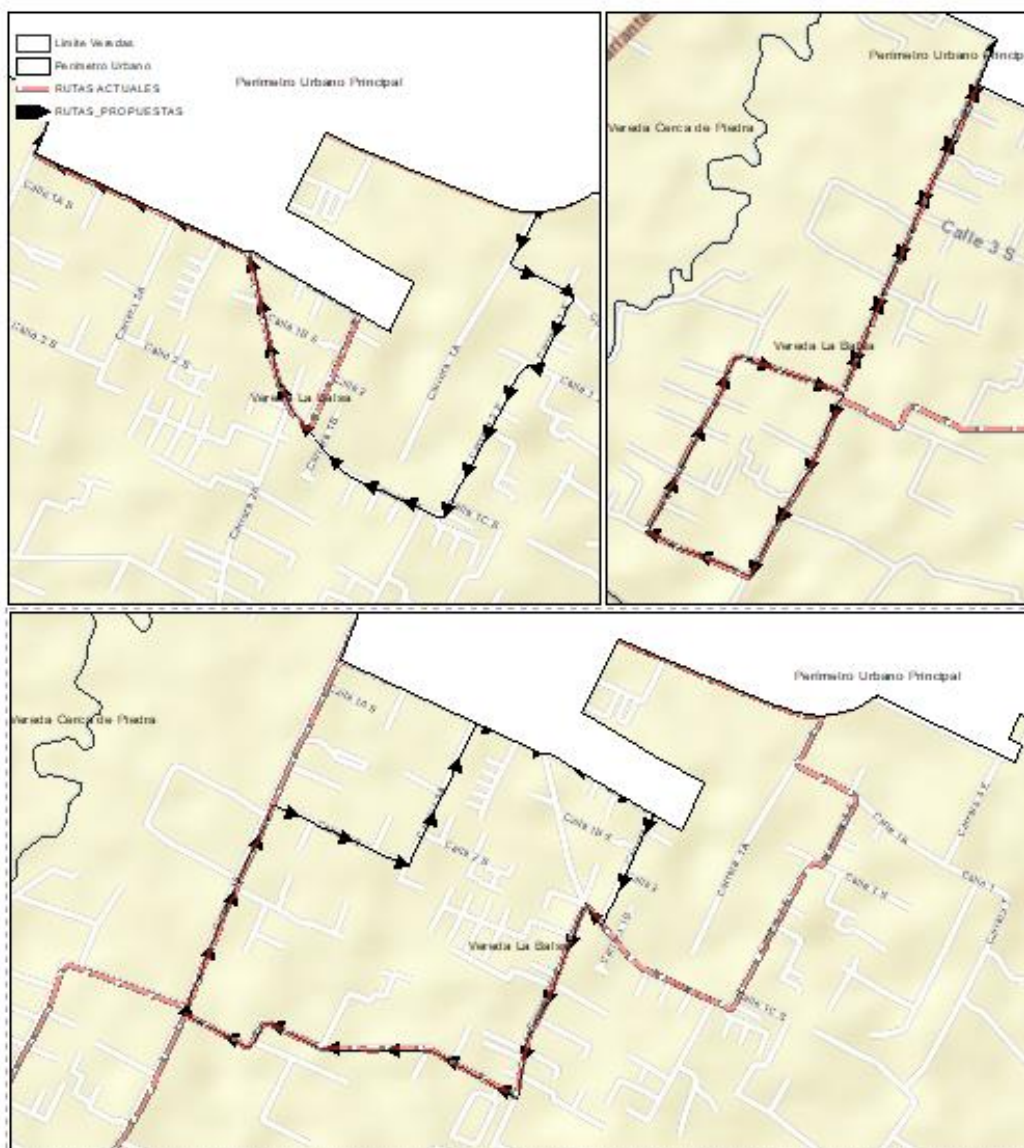


Ilustración 53. Comparación de rutas para la vereda La Balsa (Elaboración Propia. Fuente: (Base Map ESRI, 2020)).

Según los planteamientos y análisis de las variables para las veredas de Fusca y Yerbabuena no se realizaron cambios en los recorridos, pues estas veredas se encuentran sobre los cerros orientales donde no existen vías públicas y alternas; para el tránsito de las rutas se encuentra la autopista norte que las atraviesa, de esta manera los distintos usuarios tienen en su mayoría fácil acceso a diferentes rutas de transporte público.

NOMBRE RUTA		DISTANCIA (km)	Tiempo estimado de recorrido (min)
FUSCA 1	Actual	8.8	21
FUSCA 1	Actual	9.6	22
YERBABUENA 1	Actual	20	43
YERBABUENA 2	Actual	14.2	31

Tabla 13. Rutas para las veredas de Fusca y Yerbabuena (Elaboración Propia).

Visualizando la información recolectada de tiempo y distancia recorrida por cada una de las rutas y la comparación que se realizó con respecto a las actuales, se puede ver que las rutas propuestas cubren mayor número de usuarios y zonas geográficas que las rutas actuales no recorren. Adicionalmente, se disminuye el tiempo de recorrido, pues se propone realizar las rutas por diferentes vías buscando que estas rutas no se traslapen entre sí, a su vez si están trazadas sobre la misma vía se busca que el sentido vial no sea el mismo para estas, con el fin de ofrecer mayor oferta a los usuarios y buscar que tarden menos tiempo en llegar a sus destinos, asimismo, se fijó como inicio y fin de estas rutas los puntos de ingreso a la zona urbana, pues este estudio se determinó exclusivamente para las rutas de la zona rural de municipio de Chía.

8.2. Discusión de Resultados

Según la comparación y análisis de las rutas actuales y propuestas, por ejemplo: para las rutas de la vereda Fonquetá se disminuye el tiempo de recorrido en 15 minutos y 20 minutos respectivamente para cada ruta, además, la distancia se disminuye en 0.30 km y 1.2 km para cada uno de los recorridos.

Adicionalmente, para las rutas de la vereda Cerca de Piedra, donde solo existía una ruta y ahora se proponen dos, se disminuye el tiempo de recorrido tomando inicio y fin a la zona urbana, en 20 min y en distancia de 1 km menos del recorrido actual, pues para estas rutas se evita el tránsito por la vereda vecina.

Continuando, en la vereda Tiquiza donde únicamente existía una ruta, se sugieren dos, donde se disminuye la distancia de recorrido en 4 km y el tiempo en 20 minutos, evitando transitar por la vereda vecina, adicionalmente se propone una nueva ruta para acceder a puntos de concentración de usuarios que no tenían cubrimiento de transporte.

Para las rutas de la vereda Fagua se proponen dos rutas, de esta manera en una de las rutas se disminuye el tiempo de en 15 minutos y la distancia en 2 km, y en la segunda ruta propuesta se disminuyen 20 minutos y una distancia de 1 km.

Por otro, las dos para la vereda Bojacá se recomiendan tres rutas donde para todas se disminuye un tiempo de 10 minutos y la distancia de recorrido se disminuye en 2.5 km, generando recorridos más cortos y puntuales en busca de generar menos congestión vehicular.

Por último, en las rutas establecidas para la vereda La Balsa disminuye su tiempo de recorrido en 20 minutos y la distancia en 3 km, siendo más óptimas y generando un mejor tránsito.

De acuerdo con los resultados alcanzados, es posible realizar un análisis de variables a partir de una regresión lineal, esto con el fin de plantear un modelo espacial que determine rutas y frecuencias más óptimas.

Los resultados y la información producto de este trabajo será útil para la Secretaria de Movilidad del municipio de Chía, y a su vez para las empresas que prestan el servicio de transporte, también el resultado del análisis será una herramienta para la toma de decisiones de las autoridades locales.

9. Conclusiones

- En este trabajo se implementó un análisis espacial para la reestructuración de rutas de transporte público rural existentes en el municipio de Chía, con el fin de mejorar la calidad de este servicio. Lo más importante del análisis fue la disminución de tiempo y distancia de recorrido, con estas modificaciones se benefician más usuarios, así con la ayuda de herramientas SIG se determinaron los puntos más relevantes para el recorrido de las rutas.

- De acuerdo a los resultados, no todas las rutas son objeto de modificación, pues el difícil acceso y pocas vías públicas transitables impiden establecer variables para el análisis y mejoras en ciertas rutas.

- El uso de herramientas SIG permite identificar y depurar información contenida en las variables del sistema de transporte, para evitar tomar datos no fundamentales para el análisis y alcanzar el objetivo propuesto.

- La información correspondiente a la malla vial del municipio, presenta falencias en cuando a la continuidad de las vías públicas, existen gran número de servidumbres y vías privadas, lo que impide incluir la totalidad de esta información para el análisis de las rutas, adicionalmente se presenta invasión del espacio público lo que restringe el tránsito de vehículos transporte público.

- Con el análisis y aplicación de diversas herramientas SIG, sobre las variables identificadas del sistema se realizó la demarcación de rutas para cada una de las veredas, teniendo en cuenta la malla vial, puntos de interés y usuarios.

- Se debe mejorar la señalización, demarcación y semaforización en las vías del municipio, pues este factor sería muy útil para el análisis, adicionalmente, aunque existe captura de esta información no es clara y completa para tenerla en cuenta.

- Los paraderos y terminales de transporte son insuficientes para la cobertura total de los vehículos y rutas de transporte público, esto genera congestión vehicular y problemas de la movilidad.

- Con los resultados obtenidos y en análisis se observa el mejoramiento del sistema en cuanto a la disminución del tiempo y distancia en las rutas propuestas con respecto a las actuales, el mayor cubrimiento a los distintos usuarios.

- Se debe diseñar ciclo rutas, puesto que el uso de medios de transporte alternativos como la bicicleta tienen gran acogida por parte de los usuarios.

10. Recomendaciones

Para el mejoramiento de este análisis o la creación de uno nuevo, a pesar de que las variables y elementos del sistema fueron las apropiadas para el caso de estudio se recomienda incluir más variables al sistema, donde se consideren costos de rodamiento de los vehículos, costos de pasajes para los usuarios, entre otros, con el fin de poder incorporar otros enfoques y tipos de análisis complementarios de interés.

Dado que el análisis aplicado en la zona rural dio resultados apropiados, se sugiere aplicar este análisis incluyendo las variables propias del sector urbano y complementando con otras variables específicas de este sector, así definir articulación entre las rutas de todo el municipio.

Adicionalmente, se recomienda realizar una articulación de este análisis de rutas de transporte rural con el sistema de rutas de transporte urbano para el municipio, teniendo en cuenta las variables establecidas y evaluadas para cada uno de los sectores.

Finalmente, se recomienda establecer paraderos y terminales satélites que sean suficientes para la cobertura de vehículos y rutas.

Referencias

- Acuerdo 100 POT, 205 (2016). [https://www.chia-cundinamarca.gov.co/POT2016/Acuerdo 100 POT 2016.pdf](https://www.chia-cundinamarca.gov.co/POT2016/Acuerdo%20100%20POT%202016.pdf)
- Decreto 40, (2016). [https://www.chia-cundinamarca.gov.co/normatividad/DECRETOS2016/DECRETO 40 DE 2016.pdf](https://www.chia-cundinamarca.gov.co/normatividad/DECRETOS2016/DECRETO%2040%20DE%202016.pdf)
- Resolución 3177, 12 (2017). [https://www.chia-cundinamarca.gov.co/2017/resoluciones/Resolución 3177 de 2017.pdf](https://www.chia-cundinamarca.gov.co/2017/resoluciones/Resoluci3n%203177%20de%202017.pdf)
- Alcaldía Municipal de Chía. (2017). *SigeoChia Visor Geografico*. <http://200.122.252.15/sigeochiaweb/>
- Alcaldía Municipal de Chía. (2020). *Diagnóstico Municipal de Chia Plan de Desarrollo 2020-2023*. 482. [http://www.chia-cundinamarca.gov.co/2020/PDM/Anexo 1. Diagnostico municipal \(2\).pdf](http://www.chia-cundinamarca.gov.co/2020/PDM/Anexo%201.%20Diagnostico%20municipal%20(2).pdf)
- Aliseda, J. M., Galán, J. N., Gallego, J. G., & Ruíz, T. C. (2003). Aplicación de técnicas de SIG en la planificación del transporte en Extremadura (España). *Finis terra*, 38(75), 67-83. <https://doi.org/10.18055/Finis1580>
- ArcGeek. (2019). *Software Libre*. ArcGeek. <https://acolita.com/las-13-opciones-de-software-libre-sig/>
- ArcGIS. (2021). *Análisis de puntos calientes (Gi* de Getis-Ord) (Estadística espacial)*. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/hot-spot-analysis.htm>
- Asmael, N. M. (2016). Analysis Local Public Transportation Using GIS (Baghdad Case Study). *International Research Journal of Engineering and Technology*, 03(10), 1-5. <https://www.irjet.net/archives/V3/i10/IRJET-V3I1001.pdf>
- Auto Servicio Chia Ltda. (2017). *Auto Servicio Chia Ltda*. 2017. <http://autoserviciochia.com/>
- Backhoff Pohls, M. Á., & Vázquez Paulino, J. C. (2002). Sistema De Información Geoestadística Para El Transporte Métodos, Organización Y Descripción Operativa. En *Secretaría De Comunicaciones Y Transportes, Instituto Mexicano Del Transporte: Vol. Publicacio* (Número 207). <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt207.pdf>
- Base Map ESRI. (2020). *Base Map ESRI*.
- Bouzas, V. (2014). Aplicación de los SIG al transporte público. Ejemplo práctico de cálculo de rutas óptimas. *TYS magazine*, 1-10. <http://www.tysmagazine.com/aplicacion-de-los-sig-al-transporte-publico-ejemplo-practico-de-rutas-optimas/>
- Calfin Quintana, H. I. (2015). *Planificador GIS multimodal de rutas*. http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-8500/UCE8993_01.pdf
- Cantergiani, C., Rojas, C., & Salado, M. J. (2008). Modelización en sig de indicadores de transporte en el marco de la sostenibilidad urbana. *XIII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica, January*, 226-238. https://www.researchgate.net/publication/281744261_Modelacion_en_SIG_de_Indicadores_de_Transporte_en_el_marco_de_la_Sostenibilidad_Urbana
- Carol, P., & Alberto, V. (2009). *Tecnologías de la Información Geográfica Carol Puig y Alberto Varela*. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/7408/08_TIG_02_introduccion.

- pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castellanos Barrero, D. F. (2010). Aplicación de los sistemas de información geográfica en el ordenamiento territorial [Application of geographic information systems on urban planning]. *Ventana Informatica*, 22(22), 39-53.
<https://doi.org/10.30554/ventanainform.22.208.2010>
- Cerquera Escobar, F. Á. (2011). La Configuración Espacial Geográfica, Contexto Esencial De Estudio Del Transporte Y La Accidentalidad. *Revista Geográfica de América Central*, 2, 1-24.
<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2079/1975>
- Ley 1083, 3 (2006).
https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=20869
- Delgado Rivero, C. M., Cortés Cortés, M. E., & Rodríguez Hernández, C. (2016). SIGRED: SISTEMA INFORMÁTICO PARA EL ANÁLISIS DE DATOS GEOGRÁFICOS POR MEDIO DE TEORÍA DE REDES PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA. *REVISTA CONRADO*, 20(1), 1-8.
<https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/323/322>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2013). *Centro poblado*.
<https://sitios.dane.gov.co/conceptos/#!/consulta>
- División de Geodesia de la Subdirección de Geografía y Cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2004). *TIPOS DE COORDENADAS MANEJADOS EN COLOMBIA*.
https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/anexo_8._tipos_de_coordenadas_manejados_en_colombia_igac._ano_2004.pdf
- EcuRed. (2020). *Comercio*. <https://www.ecured.cu/Comercio>
- EduRed. (2020). *Dijkstra*. https://www.ecured.cu/Algoritmo_de_Dijkstra
- Espindola Lara, O. O., Londo Yachambay, F. P., & Sanchez Salcan, N. de J. (2019). Rediseño de rutas de transporte urbano aplicando sistemas de información geográfica caso: Riobamba. *Explorador Digital*, 3(3.1), 19-29.
<https://doi.org/10.33262/exploradordigital.v3i3.1.862>
- Farooq, A., Xie, M., Stoilova, S., Ahmad, F., Guo, M., Williams, E. J., Gahlot, V. K., Yan, D., & Mahamat Issa, A. (2018). Transportation Planning through GIS and Multicriteria Analysis: Case Study of Beijing and XiongAn. *Journal of Advanced Transportation*, 2018, 1-16. <https://doi.org/10.1155/2018/2696037>
- Florez, O., Serna, A., & Garcia, J. (2016). Análisis de Rutas de Transporte de Pasajeros Mediante la Herramienta Network Analyst de Arcgis. Caso Aplicado en la Ciudad de Medellín. *Revista Ingenierías USBMed*, ISSN-e 2027-5846, Vol. 7, N°. 2, 2016, págs. 89-95, 7(2), 89-95. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6007708>
- Geoinnova, A. (2016). *Movilidad Sostenible : GIS aplicado al Transporte*.
<https://geoinnova.org/blog-territorio/movilidad-sostenible/>
- Google Earth Street View. (2018). *Terminal urbano*.
- Granja Alencastro, P., & Álvarez Ochoa, J. (2018). *UN CALDERÓN ACCESIBLE; RUTAS DE TRANSPORTE URBANO PARA LA PARROQUIA DE CALDERÓN A TRAVÉS DE SIG'S*. 0-20.
https://www.researchgate.net/publication/336614137_UN_CALDERON_ACCESIBL

E_RUTAS_DE_TRANSPORTE_URBANO_PARA_LA_PARROQUIA_DE_CALDERON_A_TRAVES_DE_SIGS

- Guarin Gonzalez, J. D., & Olarte Ortiz, J. M. (2015). ANÁLISIS DE REDES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUTA ÓPTIMA DE ZONAS DE SERVICIO DE PRODUCTOS LÁCTEOS EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ [Universidad de Cundinamarca]. En *Food and nutrition bulletin* (Vol. 12, Número 3).
<http://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/1476>
- Guevara Orozco, J. F. (2017). *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica para la Actualización y Funcionamiento del Transporte Público del cantón Riobamba*. <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/7041>
- Gutiérrez, A. (2012). ¿qué es la movilidad? Elementos para (re) construir las definiciones básicas del campo del transporte. *Bitacora Urbano Territorial*, 21(2), 61-74. <http://www.bdigital.unal.edu.co/30288/1/29076-167002-1-PB.pdf>
- Gutiérrez, J. A., Ruiz, E., Jaraíz, F., & Pérez, J. M. (2012). Propuesta metodológica para diseñar modelos urbanos de transporte que gestionen planes de movilidad urbana sostenibles en ciudades medias . Aplicación al caso extremeño de Mérida. *XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*, 12. https://www.researchgate.net/publication/260158486_Propuesta_metodologica_para_diseñar_modelos_urbanos_de_transporte_que_gestionen_planes_de_movilidad_urbana_sostenibles_en_ciudades_medias_Aplicacion_al_caso_extremeño_de_Merida
- Imasgal. (2020). *Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica*. <https://imasgal.com/aplicaciones-sistemas-informacion-geografica/>
- Instituto Geográfico Nacional. (2010). *Bases Geográficas*. <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/CBG-BD.pdf>
- Lopez, Y. F. (2016). *Modelo de rutas óptimas para Ciclocarriles en el Distrito de Barranquilla, mediante herramientas SIG [UNIVERSIDAD DE MANIZALES]*. <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/2702>
- Madrigal Aguilera, H. (2013). *Análisis y Diseños de un SIG para Atención de Emergencias en Fallas de Suministro Eléctrico: San Juan Lagos, Jalisco [UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO]*. <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2116/1/106841.pdf>
- Martínez, M., Rojas, C., Gutiérrez, J., & Borjas, C. (2018). Diseño de una plataforma sig-web para la gestión integral del sistema de transporte-gesitran biobío. *Análisis Territoriales mediante tecnologías de la información geográfica, December*, 375-397. https://www.researchgate.net/profile/Carolina_Rojas13/publication/329896186_Sistemas_de_Informacion_Geografica_aplicados_en_el_diseño_de_una_plataforma_SIG-WEB_para_la_gestión_integral_del_sistema_de_transporte_-_GESITRAN_BIOBIO/links/5c2caa90458515a4c707
- Mauttone, A. (2005). Optimización de Recorridos y Frecuencias en Sistemas de Transporte Público Urbano Colectivo [Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.]. En *Pedeciba*. <https://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/tesis/tesis-mauttone.pdf>
- Morales, A. (2019). Herramientas de analisis de redes en QGIS. *MappinGIS*, 7.

- <https://mappinggis.com/2020/04/5-herramientas-de-analisis-de-redes-en-qgis/>
Moya Fernández, L. M. (2017). *El uso de Sistemas de Información Geográfica para la planificación y gestión de infraestructura*.
<https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/ca30c091-a442-4e78-8655-a4b17413e833/Lil+Moya.pdf?MOD=AJPERES>
- Municipio de Chía. (2020). *Municipio de Chia*.
[https://es.wikipedia.org/wiki/Chía_\(Cundinamarca\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Chía_(Cundinamarca))
- Nieto Masot, A. (2016). *Tecnologías de la información geográfica en el análisis espacial*.
https://www.researchgate.net/publication/312053891_TECNOLOGIAS_DE_LA_INFORMACION_GEOGRAFICA_EN_EL_ANALISIS_ESPACIAL_Aplicaciones_en_los_Sectores_Publico_Empresarial_y_Universitario
- Ojeda Toche, L., & Tovar Plata, L. (2016). *El análisis espacial como una herramienta para el estudio del transporte de carga urbano*. 1-14.
<https://doi.org/10.4995/cit2016.2016.4125>
- Olaya, V. (2009). Sistemas de Información Geográfica libres y geodatos libres como elementos de desarrollo. Olaya, Víctor. «Sistemas de información geográfica.» *Cuadernos Internacionales de Tecnología para el Desarrollo Humano.*, VIII, 1-6.
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/7584/08_TIG_05_victor.pdf
- Olaya, V. (2017). Sistemas de Información Geográfica. En *BMC Public Health* (Vol. 5, Número 1). https://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Tipos_datos.html
- Parras, M. A., & Ramírez, M. L. (2016). Propuesta metodológica para el modelado de la demanda potencial del transporte público mediante el empleo de sistemas de información geográfica. *Revista Transporte y Territorio*, 0(14), 109-121.
<https://doi.org/10.34096/rtt.i14.2431>
- Peña Morales, D. (2017). *Optimización multiobjetivo para la planificación de transporte público aplicando técnicas metaheurísticas*. 83.
<http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/1450>
- Plana, A. B., Camps Paré, R., & Muñoz Bollas, A. (2006). *Bases de datos geográficas* (p. 92). [http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/51482/1/Bases de datos geográficas_Módulo1_ Bases de datos geográficas.pdf](http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/51482/1/Bases_de_datos_geograficas_Modulo1_Bases_de_datos_geograficas.pdf)
- Ley 336, 1 (1996). www.mintransporte.gov.co/documentos/17/leyes/
- Decreto 170, 31 (2001). <https://www.mintransporte.gov.co/documentos/13/decretos/>
- Decreto 176, 20 (2001). <https://www.mintransporte.gov.co/documentos/13/decretos/>
- QGIS. (2020). *QGIS*. <https://qgis.org/es/site/about/index.html>
- Raffino, M. E. (2020). *Transporte Terrestre*. 2020. <https://concepto.de/transporte-terrestre/>
- Ruiz Pérez, M., Escalas, F., Bauxà, A., Seguí Pons, J., & Guaita Mas, F. (2003). La planificación de rutas de transporte escolar a través de un SIG: El proyecto SIGTEBAL. *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 3, 5.
<http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/23/190>
- Salado Garcia, M. J., Diaz Muñoz, M. A., Bosque Sendra, J., Carvalho Cantergiani, C., Rojas Quezada, C., Jimenez Gigante, F. J., Barnett, I., Fernandez, C., & Muñoz

- Rueda, C. (2006). MOVILIDAD SOSTENIBLE Y SIG. PROPUESTA DE EVALUACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN ALCALÁ DE HENARES. *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*, September 2015, 1777-1794.
https://www.researchgate.net/publication/281744271_Movilidad_Sostenible_y_SIG_Propuesta_de_evaluacion_del_transporte_publico_en_Alcala_de_Henares
- Saldarriaga, W., & Navarro, K. (2016). *Accidentes de Transito*. 2016.
<http://pifspbz.blogspot.com/2016/11/trabajo-de-proyectointegrador-7.html>
- Saria, F. A., & Palazon Ferrando, J. A. (2004). *Software Libre para SIG* (p. 78).
<https://www.um.es/geograf/sigmur/cursos/cursoGRASS.pdf>
- Tonya Tapia, D. (2015). *SIG DE TRANSPORTE PÚBLICO EN SANT SADURNÍ D'ANOIA*.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/77268/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villanueva Zamora, L. J. (2017). *Análisis espacial entre la infraestructura de transporte para bicicletas y la red de transporte público de la ciudad de Bogotá* [Universidad de la Salle].
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1128&context=ing_civil
- Vizcaíno Monroy, O. G., & Plascencia Bernal, M. O. P. (2012). *Aplicación De Sistemas De Información Geográfica (Gis) Para La Toma De Decisiones De La Movilidad Intra-Urbana Y Espacios De Vida De Los Habitantes De Tres Ciudades De Nayarit: Tepic, Xalisco Y Compostela*.
https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/3687/1/Aplicacion_de_sistemas_de_informacion_geografica.pdf
- Zeng, W., Chang, X., & Lv, J. (2010). Design of Data Model for Urban Transport GIS. *Journal of Geographic Information System*, 02(02), 106-112.
<https://doi.org/10.4236/jgis.2010.22016>