



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Accesibilidad territorial como herramienta de planeación urbana caso: San José del Guaviare.**

**Jhon Jairo Romero Vaca.**

Universidad Nacional de Colombia.

Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Maestría en Ingeniería–Infraestructura y Sistemas de Transporte - Profundización.

Manizales, Colombia.

2021.



# **Accesibilidad territorial como herramienta de planeación urbana caso: San José del Guaviare.**

**Jhon Jairo Romero Vaca.**

Trabajo final de maestría presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ingeniería – Infraestructura y Sistemas de Transporte.**

Director:

Diego Alexander Escobar García. PhD.

Ingeniero Civil, Magister en Ingeniería Civil y

Doctor en Gestión del territorio e infraestructura de transporte.

Universidad Nacional de Colombia.

Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Manizales, Colombia.

2021.



*Dedico con todo mi corazón este trabajo a mi gran y querido padre Israel que siempre me apoyó con todo su amor en todas las etapas de mi vida y a mi amada hija María Victoria que es el motor de mi existencia.*



# Agradecimientos

Toda mi gratitud, admiración y amor para mi señor padre Israel Romero, quien durante su vida siempre me impulsó y apoyó de forma incondicional para terminar todos mis estudios y proyectos, a mi señora madre Rud Vaca que desde la distancia siempre me ha demostrado el amor sincero, a mi tía Blanca que ha sido un premio de Dios en mi vida con su infinito amor hacia mí, también agradecer a mis tías Floralba y Neila, a mis tíos Pablo y Tito y a mis primos Jobeth y Yeison.

Al director del presente trabajo final de grado, ing. Diego Escobar, quien con sus valiosos aportes, recomendaciones y orientaciones, coadyuvo de forma determinante en la culminación de mis estudios, de igual forma agradezco al ingeniero Santiago Cardona, un compañero que estuvo todo el tiempo transmitiendo de forma desinteresada todos sus conocimientos, por ultimo a los ingenieros Jorge Montoya y Alejandro Londoño, quienes tuvieron la disponibilidad de apoyo a este proyecto.

También agradezco a los ingenieros Camilo Ferro, Felipe Vanegas y Alejandra Beltrán quienes en distintas épocas apoyaron la realización de algunos anexos.





## Resumen.

### **Accesibilidad territorial como herramienta de planeación urbana caso: San José del Guaviare.**

El presente trabajo final de maestría desarrolla la accesibilidad territorial en el área urbana y periférica del municipio de San José del Guaviare con el objetivo de generar una herramienta de planeación que sirva de base técnica para la toma de decisiones de conveniencia en lo referente a nuevos proyectos de infraestructura vial terrestre y de modos de transporte alternativos al vehículo privado como lo son el peatonal, la ciclorruta y el transporte público. Consecuente con el anterior planteamiento se realiza la creación de la red de transporte existente, se determinan sus condiciones operativas y se calcula la accesibilidad media global del escenario actual. Luego se evalúa la cobertura del sistema existente en términos de accesibilidad respecto a la identificación y ubicación espacial de los nodos de actividad primaria del municipio. Posteriormente se realiza el planteamiento de cuatro (4) propuestas de intervención a la infraestructura existente y se calcula el gradiente de ahorro para cada una. Por último se desarrolla la red peatonal tomando como base la estructura de la red vial existente, se plantea el diseño de la red piloto de ciclorruta y se proyectan rutas de transporte público colectivo urbano, con lo cual se realiza la evaluación final de accesibilidad media global de cada modo respecto a los nodos de actividad primaria.

**Palabras clave:** Accesibilidad, gradiente de ahorro, modos de transporte.

## **Abstract.**

### **Territorial accessibility as a tool for urban planning case: San José del Guaviare.**

This final master's thesis develops the territorial accessibility in the urban and peripheral areas of San José del Guaviare municipality, aiming to create a planning tool that works as a technical basis for making decisions regarding new road infrastructure projects and alternative modes of transport to private vehicles, such as pedestrian, cycling, and public transport. The existing transport network is created following the above approach. Its operating conditions are determined and the overall average accessibility of the current scenario is calculated. The current system coverage is then evaluated in terms of accessibility concerning the identification and spatial location of the municipality's primary activity nodes. Subsequently, four (4) intervention proposals to existing infrastructure are approached and the savings rate is calculated for each one. Finally, the pedestrian network is developed based on the existing road network structure, the design of the pilot cycle route network is proposed, and urban public transport routes are planned. Thus, making the final evaluation of the overall average accessibility of each mode concerning the nodes of primary activity.

**Keywords: Accessibility, saving gradient, transport modes**

# Contenido.

	Pág.
<b>Resumen.....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>XIV</b>
<b>Lista de tablas.....</b>	<b>XIX</b>
<b>1 Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Planeación urbana.....	1
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.1 Objetivo general.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>3</b>
1.3 Zona de estudio, San José del Guaviare.....	3
1.4 Condiciones actuales de accesibilidad territorial.....	5
<b>2 Marco teórico.....</b>	<b>9</b>
2.1 Estado del arte.....	9
2.2 Marco conceptual.....	11
2.2.1 Sistema de movilidad urbano.....	11
2.2.2 Clasificación de la red vial urbana según el PBOT.....	12
2.2.3 Modelos de transporte.....	13
2.2.4 Kriging ordinario predictivo.....	16
2.2.5 Análisis geodésico, MAGNA - SIRGAS.....	16
<b>3 Metodología.....</b>	<b>19</b>
3.1 Creación y validación de la red de transporte.....	20
3.1.1 Capas de información geográfica ( <i>Shapefile</i> de ArcMap).....	20
3.1.1.1 Polígono de manzanas urbanas.....	20
3.1.1.2 Polígono de entorno ambiental.....	22
3.1.1.3 Polígono de barrios.....	22
3.1.1.4 Polilínea de arcos viales.....	25
3.1.2 Creación y verificación de la topología de la red.....	28
3.2 Análisis y obtención de las condiciones operativas de la red de transporte.....	30
3.2.1 Cálculo de velocidades de operación en <i>Google Maps</i> y tiempo de viaje para cada arco.....	31
3.2.2 Calibración de la red con <i>Shortest Path</i> ruta mínima entre nodos.....	33
3.2.2.1 Importación de la red en TransCAD.....	33
3.2.2.2 Análisis de penalidades por giro.....	35
3.2.2.3 Comparación de tiempos mínimos de viaje entre TransCAD y Google Maps	35
3.3 Accesibilidad media global, escenario actual.....	37
3.3.1 Matriz de tiempos mínimos de viaje ( <i>Múltiple paths</i> , algoritmo Dijkstra).....	37
3.3.2 Vector de tiempo medio de viaje.....	37
3.3.3 Análisis geoestadístico, modelo de Kriging ordinario y predictivo.....	38
3.3.4 Cálculo de curvas isócronas.....	39
3.3.4.1 Reclasificación de tiempos promedio de viaje.....	39
3.4 Análisis de cobertura actual para los nodos de actividad primaria.....	40
3.4.1 Intersección con polígono de barrios.....	40
3.4.2 Creación y análisis de equipamientos funcionales como nodos de actividad primaria.....	41
3.5 Gradiente de ahorro con escenarios futuros.....	42
3.5.1 Accesibilidad media global para escenarios futuros.....	42

3.5.2	Cálculo de gradiente de ahorro por escenario futuro. ....	42
3.6	Análisis de accesibilidad media global en función de modos de transporte y nodos de actividad de actividad primaria.....	44
3.6.1	Análisis de escenario con red peatonal. ....	44
3.6.2	Análisis de escenario con red de ciclorruta.....	44
3.6.3	Análisis de escenario con red de transporte público colectivo urbano. ....	44
3.6.4	Análisis de cobertura para nodos de actividad primaria en función de modos de transporte.....	44
<b>4</b>	<b>Desarrollo de cálculos y resultados. ....</b>	<b>45</b>
4.1	Creación y validación de la red de transporte. ....	45
4.1.1	Capas de información geográfica. ....	46
4.1.2	Revisión y validación topológica. ....	55
4.2	Análisis y obtención de las condiciones operativas de la red de transporte.....	55
4.2.1	Cálculo de velocidades de operación en Google Maps y tiempo de viaje para cada arco.....	55
4.2.2	Calibración de la red con <i>Shortest Path</i> ruta mínima entre nodos en <i>TransCAD</i> y el algoritmo de <i>Google Maps</i> .....	56
4.3	Accesibilidad media global, escenario actual. ....	59
4.3.1	Matriz de tiempos de viaje.....	59
4.3.2	Vector de tiempo medio de viaje. ....	60
4.3.3	Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas de la red - escenario actual.....	61
4.4	Análisis de cobertura actual para los nodos de actividad primaria. ....	66
4.4.1	Curvas isócronas en relación con la variable geográfica de barrios, escenario actual.....	66
4.4.2	Análisis de cobertura para nodos de actividad primaria.....	68
4.5	Gradiente de ahorro con escenarios futuros. ....	77
4.5.1	Accesibilidad media global y gradiente de ahorro para escenario futuro número uno (1). ....	77
4.5.1.1	Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas de la red - escenario futuro número uno (1).....	78
4.5.1.2	Curvas isócronas en relación con la variable geográfica de barrios, escenario futuro número uno (1).....	83
4.5.1.3	Cálculo de gradiente de ahorro escenario futuro número uno (1).....	85
4.5.2	Accesibilidad media global y gradiente de ahorro para escenario futuro número dos (2). ....	88
4.5.2.1	Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas de la red - escenario futuro número dos (2).....	89
4.5.2.2	Curvas isócronas en relación con la variable geográfica de barrios, escenario futuro número dos (2).....	94
4.5.2.3	Cálculo de gradiente de ahorro escenario futuro número dos (2).....	96
4.5.3	Accesibilidad media global y gradiente de ahorro para escenario futuro número tres (3). ....	99
4.5.3.1	Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas de la red - escenario futuro número tres (3).....	100
4.5.3.2	Curvas isócronas en relación con la variable geográfica de barrios, escenario futuro número tres (3).....	105
4.5.3.3	Cálculo de gradiente de ahorro escenario futuro número tres. ....	107
4.5.4	Accesibilidad media global y gradiente de ahorro para escenario futuro número cuatro (4). ....	110

4.5.4.1	Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas de la red - escenario futuro número cuatro (4).....	111
4.5.4.2	Curvas isócronas en relación con la variable geográfica de barrios, escenario futuro número cuatro (4).....	116
4.5.4.3	Cálculo de gradiente de ahorro escenario futuro número cuatro (4).....	118
4.6	Análisis de accesibilidad media global en función de modos de transporte y nodos de actividad de actividad primaria.....	121
4.6.1	Análisis de escenario, red peatonal.....	121
4.6.1.1	Matriz de tiempos de viaje.....	121
4.6.1.2	Vector de tiempo medio de viaje, red peatonal.....	122
4.6.1.3	Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas de la red peatonal.....	123
4.6.1.4	Curvas isócronas en relación con la variable geográfica de barrios, red peatonal.....	128
4.6.2	Análisis de escenario, red ciclorruta.....	130
4.6.2.1	Matriz de tiempos de viaje.....	130
4.6.2.2	Vector de tiempo medio de viaje, red de ciclorruta.....	131
4.6.2.3	Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas para la red de ciclorruta.....	132
4.6.2.4	Curvas isócronas en relación con la variable geográfica de barrios, red de ciclorruta.....	137
4.6.3	Análisis de escenario con red de transporte público colectivo urbano.....	139
4.6.3.1	Matriz de tiempos de viaje.....	140
4.6.3.2	Vector de tiempo medio de viaje, red de transporte público.....	141
4.6.3.3	Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas para la red de transporte público.....	141
4.6.3.4	Curvas isócronas en relación con la variable geográfica de barrios, red de transporte público.....	146
4.6.4	Análisis de cobertura para nodos de actividad primaria en función de modos de transporte.....	148
<b>5</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>153</b>
5.1	Conclusiones.....	153
5.2	Recomendaciones.....	159
<b>6</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>161</b>
<b>7</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>167</b>
7.1	Anexo A. Cálculo de población por barrios.....	167
7.2	Anexo B. Registro Fotográfico de sitios de interés del proyecto.....	167
7.3	Anexo C. Velocidades operativas de los arcos viales.....	167
7.4	Anexo D. Calibración de la red.....	167

## Lista de figuras.

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-3:</b> Datos poblacionales de San José del Guaviare. ....	4
<b>Figura 1-4:</b> Localización del municipio de San José del Guaviare. ....	5
<b>Figura 1-1:</b> Árbol de problemas. ....	7
<b>Figura 1-2:</b> Árbol de objetivos. ....	7
<b>Figura 3-1:</b> Metodología de trabajo de grado. ....	19
<b>Figura 3-2:</b> Creación de <i>Shapefile</i> polígono de manzanas urbanas. ....	21
<b>Figura 3-3:</b> Cargue de mapa base <i>Imagery with labels</i> de ESRI en ArcMap. ....	21
<b>Figura 3-4:</b> Generación de polígonos de manzanas urbanas. ....	22
<b>Figura 3-5:</b> Cálculo de perímetro y áreas de barrios. ....	23
<b>Figura 3-6:</b> Nivel de concentración de viviendas por manzana. ....	24
<b>Figura 3-7:</b> Proceso de cálculo de población por área. ....	25
<b>Figura 3-8:</b> Creación de <i>Shapefile</i> polilínea de arcos viales. ....	26
<b>Figura 3-9:</b> Mapa 9. Sistema de movilidad. ....	27
<b>Figura 3-10:</b> Jerarquización de vías. Caso VU 1. ....	28
<b>Figura 3-11:</b> Proceso de creación de la topología de la red para validación. ....	29
<b>Figura 3-12:</b> Calculo de rutas por Google Maps. ....	31
<b>Figura 3-13:</b> Cálculo de velocidad media espacial $V_e$ en <i>Kilometro/hora</i> . ....	32
<b>Figura 3-14:</b> Proyección de sistema de coordenadas MCB hasta WGS84. ....	33
<b>Figura 3-15:</b> Importación de la red en TransCAD. ....	34
<b>Figura 3-16:</b> Relleno del campo de dirección vial DIR1. ....	34
<b>Figura 3-17:</b> Penalidades por giro. ....	35
<b>Figura 3-18:</b> Creación de <i>Shortest path</i> . ....	36
<b>Figura 3-19:</b> Matriz de tiempos de viaje. ....	37
<b>Figura 3-20:</b> Proceso de Kriging ordinario. ....	39
<b>Figura 3-21:</b> Reclasificación de tiempos promedio de viaje. ....	40
<b>Figura 3-22:</b> <i>Intersect</i> de accesibilidad con polígono de barrios. ....	41
<b>Figura 3-23:</b> <i>Intersect</i> de gradiente entre vectores de tiempo medio de viaje, escenarios actual y futuro. ....	43
<b>Figura 4-1:</b> Zona de origen de San José del Guaviare. ....	45
<b>Figura 4-2:</b> Resultado de polígonos de manzanas urbanas. ....	46
<b>Figura 4-3:</b> Tabla de atributos de polígonos de manzanas urbanas. ....	46

<b>Figura 4-4:</b> Sistema ambiental urbano, suelo de protección. ....	47
<b>Figura 4-5:</b> Aspectos ambientales predominantes en San José del Guaviare. ....	48
<b>Figura 4-6:</b> Aspectos ambientales predominantes en San José del Guaviare. ....	49
<b>Figura 4-7:</b> División político-administrativa de barrios.....	50
<b>Figura 4-8:</b> Tabla final de atributos del <i>Shapefile</i> de barrios. ....	50
<b>Figura 4-9:</b> Arcos viales por capa de rodadura. ....	51
<b>Figura 4-10:</b> Tramo vial en pavimento rígido, calle 10 con transversal 20.....	52
<b>Figura 4-11:</b> Tramo vial en pavimento flexible, carrera 20 con calle 19.....	52
<b>Figura 4-12:</b> Tramo vial en destapado, calle 12 con carrera 26. ....	53
<b>Figura 4-13:</b> Tramo vial en pavimento articulado, calle 6a con carrera 30. ....	53
<b>Figura 4-14:</b> Red vial según direccionalidad. ....	53
<b>Figura 4-15:</b> Shapefile polilínea de arcos viales.....	54
<b>Figura 4-16:</b> Tabla de atributos mínimos de arcos viales. ....	54
<b>Figura 4-17:</b> Revisión y validación topológica. ....	55
<b>Figura 4-18:</b> Calibración de datos de TransCAD y Google Maps.....	57
<b>Figura 4-19:</b> Matriz de tiempos de viaje para la red de transporte actual. ....	59
<b>Figura 4-20:</b> Shapefile de nodos de vector medio tiempo de viaje.....	60
<b>Figura 4-21:</b> Resultado de Kriging ordinario y predictivo, escenario actual. ....	61
<b>Figura 4-22:</b> Mapa de curvas isócronas de la accesibilidad media global según red vial existente.....	62
<b>Figura 4-23:</b> Ojiva porcentual acumulada de área cubierta para la red existente.....	63
<b>Figura 4-24:</b> Ojiva porcentual acumulada de población cubierta para la red existente...	64
<b>Figura 4-25:</b> Porcentaje de población cubierta por género en la red existente.....	65
<b>Figura 4-26:</b> Mapa de análisis de cobertura espacial actual por barrios.....	66
<b>Figura 4-27:</b> Cobertura espacial actual de los nodos de actividad primaria. ....	68
<b>Figura 4-28:</b> Mapa de cobertura de nodos de actividad primaria, institucional.....	69
<b>Figura 4-29:</b> Mapa de cobertura de nodos de actividad primaria, educativo. ....	70
<b>Figura 4-30:</b> Mapa de cobertura de nodos de actividad primaria, transporte. ....	71
<b>Figura 4-31:</b> Mapa de cobertura de nodos de actividad primaria, religioso. ....	72
<b>Figura 4-32:</b> Mapa de cobertura de nodos de actividad primaria, salud.....	73
<b>Figura 4-33:</b> Mapa de cobertura de nodos de actividad primaria, seguridad.....	74
<b>Figura 4-34:</b> Mapa de cobertura de nodos de actividad primaria, recreativo y deportivo.75	
<b>Figura 4-35:</b> Mapa de cobertura de nodos de actividad primaria, mercado.....	76
<b>Figura 4-36:</b> Mapa de detalle de ubicación, escenario uno (1).....	77

<b>Figura 4-37:</b> Resultado Kriging ordinario y predictivo, escenario futuro número uno (1).	78
<b>Figura 4-38:</b> Mapa de curvas isócronas de la accesibilidad media global según red vial escenario futuro número uno (1).	79
<b>Figura 4-39:</b> Ojiva porcentual acumulada de área cubierta para la red escenario futuro número uno (1).	80
<b>Figura 4-40:</b> Ojiva porcentual acumulada de población cubierta para la red escenario futuro número uno (1).	81
<b>Figura 4-41:</b> Porcentaje de población cubierta por género en la red escenario futuro número uno (1).	82
<b>Figura 4-42:</b> Mapa de análisis de cobertura espacial por barrios, escenario futuro número uno (1).	83
<b>Figura 4-43:</b> Cálculo de gradiente de ahorro escenario futuro número uno (1).	85
<b>Figura 4-44:</b> Relación porcentual de gradiente de ahorro respecto a la población total, escenario uno (1).	86
<b>Figura 4-45:</b> Relación porcentual de gradiente de ahorro respecto a la población por género, escenario uno (1).	87
<b>Figura 4-46:</b> Mapa de detalle de ubicación, escenario dos.	88
<b>Figura 4-47:</b> Resultado Kriging ordinario y predictivo, escenario futuro número dos (2).	89
<b>Figura 4-48:</b> Mapa de curvas isócronas de la accesibilidad media global según red vial escenario futuro número dos (2).	90
<b>Figura 4-49:</b> Ojiva porcentual acumulada de área cubierta para la red escenario futuro número dos (2).	91
<b>Figura 4-50:</b> Ojiva porcentual acumulada de población cubierta para la red escenario futuro número dos (2).	92
<b>Figura 4-51:</b> Porcentaje de población cubierta por género en la red escenario futuro número dos (2).	93
<b>Figura 4-52:</b> Mapa de análisis de cobertura espacial por barrios, escenario futuro número dos (2).	94
<b>Figura 4-53:</b> Cálculo de gradiente de ahorro escenario futuro número dos.	96
<b>Figura 4-54:</b> Relación porcentual de gradiente de ahorro respecto a la población total, escenario dos (2).	97
<b>Figura 4-55:</b> Relación porcentual de gradiente de ahorro respecto a la población total, escenario dos.	98



<b>Figura 4-56:</b> Mapa de detalle de ubicación, escenario tres (3).....	99
<b>Figura 4-57:</b> Resultado Kriging ordinario y predictivo, escenario futuro número tres (3). .....	100
<b>Figura 4-58:</b> Mapa de curvas isócronas de la accesibilidad media global según red vial escenario futuro número tres (3). .....	101
<b>Figura 4-59:</b> Ojiva porcentual acumulada de área cubierta para la red escenario futuro número tres (3).....	102
<b>Figura 4-60:</b> Ojiva porcentual acumulada de población cubierta para la red escenario futuro número tres (3).....	103
<b>Figura 4-61:</b> Porcentaje de población cubierta por género en la red escenario futuro número tres (3).....	104
<b>Figura 4-62:</b> Mapa de análisis de cobertura espacial por barrios, escenario futuro número tres (3).....	105
<b>Figura 4-63:</b> Cálculo de gradiente de ahorro escenario futuro número tres (3). .....	107
<b>Figura 4-64:</b> Relación porcentual de gradiente de ahorro respecto a la población total, escenario tres (3). .....	108
<b>Figura 4-65:</b> Relación porcentual de gradiente de ahorro respecto a la población total, escenario tres (3). .....	109
<b>Figura 4-66:</b> Mapa de detalle de ubicación, escenario cuatro (4).....	110
<b>Figura 4-67:</b> Resultado Kriging ordinario y predictivo, escenario futuro cuatro (4). .....	111
<b>Figura 4-68:</b> Mapa de curvas isócronas de la accesibilidad media global según red vial escenario futuro número cuatro (4).....	112
<b>Figura 4-69:</b> Ojiva porcentual acumulada de área cubierta para la red escenario futuro número cuatro (4).....	113
<b>Figura 4-70:</b> Ojiva porcentual acumulada de población cubierta para la red escenario futuro número cuatro (4).....	114
<b>Figura 4-71:</b> Porcentaje de población cubierta por género en la red escenario futuro número cuatro (4).....	115
<b>Figura 4-72:</b> Mapa de análisis de cobertura espacial por barrios, escenario futuro número cuatro (4).....	116
<b>Figura 4-73:</b> Cálculo de gradiente de ahorro escenario futuro número cuatro (4). .....	118
<b>Figura 4-74:</b> Relación porcentual de gradiente de ahorro respecto a la población total, escenario cuatro (4). .....	119

<b>Figura 4-75:</b> Relación porcentual de gradiente de ahorro respecto a la población total, escenario cuatro (4).	120
<b>Figura 4-76:</b> Matriz de tiempos de viaje para la red de transporte peatonal.	121
<b>Figura 4-77:</b> Shapefile nodos vector medio tiempo de viaje, mínimos y máximos red peatonal.	122
<b>Figura 4-78:</b> Resultado de Kriging ordinario y predictivo, red peatonal.	123
<b>Figura 4-79:</b> Mapa curvas isócronas, accesibilidad media global según red peatonal.	124
<b>Figura 4-80:</b> Ojiva porcentual acumulada de área cubierta para la red peatonal.	125
<b>Figura 4-81:</b> Ojiva porcentual acumulada de población cubierta para la red peatonal.	126
<b>Figura 4-82:</b> Porcentaje de población cubierta por género en la red peatonal.	127
<b>Figura 4-83:</b> Mapa de análisis de cobertura espacial para la red peatonal por barrios.	128
<b>Figura 4-84:</b> Diseño vial red de ciclorruta.	130
<b>Figura 4-85:</b> Matriz de tiempos de viaje para la red de transporte de ciclorruta.	131
<b>Figura 4-86:</b> Resultado de Kriging ordinario y predictivo, red de ciclorruta.	132
<b>Figura 4-87:</b> Mapa de curvas isócronas de accesibilidad media global según red de ciclorruta.	133
<b>Figura 4-88:</b> Ojiva porcentual acumulada de área cubierta para la red de ciclorruta.	134
<b>Figura 4-89:</b> Ojiva porcentual acumulada, población cubierta para red de ciclorruta.	135
<b>Figura 4-90:</b> Porcentaje de población cubierta por género en la red de ciclorruta.	136
<b>Figura 4-91:</b> Mapa análisis de cobertura espacial para red de ciclorruta por barrios.	137
<b>Figura 4-92:</b> Diseño vial red de transporte publico colectivo urbano.	139
<b>Figura 4-93:</b> Matriz de tiempos de viaje para red de transporte publico colectivo.	140
<b>Figura 4-94:</b> Resultado de Kriging ordinario y predictivo, red de transporte público.	141
<b>Figura 4-95:</b> Mapa de curvas isócronas de accesibilidad media global según red de transporte público.	142
<b>Figura 4-96:</b> Ojiva porcentual acumulada, área cubierta para red de transporte público.	143
<b>Figura 4-97:</b> Ojiva porcentual acumulada de población cubierta para red de transporte público.	144
<b>Figura 4-98:</b> Porcentaje de población cubierta por género en la red de transporte público.	145
<b>Figura 4-99:</b> Mapa de análisis de cobertura espacial para la red de transporte público por barrios.	146

## Lista de tablas.

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 3-1:</b> Clasificación de nodos de actividad primaria.....	42
<b>Tabla 4-1:</b> Relación de arcos por longitud y velocidad media espacial.....	51
<b>Tabla 4-2:</b> Relación de arcos de la red en estudio por tipo de capa de rodadura. ....	52
<b>Tabla 4-3:</b> Relación de arcos de la red en estudio por tipo de capa de rodadura. ....	54
<b>Tabla 4-4:</b> Cálculo de tiempos mínimos de viaje en minutos para rutas de análisis y comparación entre TransCAD y Google Maps.....	56
<b>Tabla 4-5:</b> Estadística descriptiva de los datos de tiempos mínimos de viaje.....	57
<b>Tabla 4-6:</b> Resumen de estadísticas de la regresión.....	58
<b>Tabla 4-7:</b> Segmento de datos de vector medio de tiempo de viaje. ....	60
<b>Tabla 4-8:</b> Porcentaje de área cubierta por las curvas isócronas para la red existente. .	63
<b>Tabla 4-9:</b> Porcentaje de población total cubierta por las curvas isócronas para la red existente.....	64
<b>Tabla 4-10:</b> Porcentaje de población por genero cubierta por las curvas isócronas para la red existente.....	65
<b>Tabla 4-11:</b> Relación de barrios por curva isócrona promedio, población y densidad poblacional, escenario actual. ....	67
<b>Tabla 4-12:</b> Cobertura de nodos de actividad primaria, institucional.....	69
<b>Tabla 4-13:</b> Cobertura de nodos de actividad primaria, educativo. ....	70
<b>Tabla 4-14:</b> Cobertura de nodos de actividad primaria, transporte. ....	71
<b>Tabla 4-15:</b> Cobertura de nodos de actividad primaria, religioso.....	72
<b>Tabla 4-16:</b> Cobertura de nodos de actividad primaria, salud.....	73
<b>Tabla 4-17:</b> Cobertura de nodos de actividad primaria, Seguridad.....	74
<b>Tabla 4-18:</b> Cobertura de nodos de actividad primaria, recreativo y deportivo. ....	75
<b>Tabla 4-19:</b> Cobertura de nodos de actividad primaria, mercado. ....	76
<b>Tabla 4-20:</b> Coordenadas planas de los puntos de conexión del escenario uno (1). ....	77
<b>Tabla 4-21:</b> Porcentaje de área cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número uno (1).....	80
<b>Tabla 4-22:</b> Porcentaje de población total cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número uno (1). ....	81
<b>Tabla 4-23:</b> Porcentaje de población por genero cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número uno (1). ....	82

<b>Tabla 4-24:</b> Relación de barrios por curva isócrona promedio, población y densidad poblacional, escenario futuro número uno (1). .....	84
<b>Tabla 4-25:</b> Porcentaje gradiente de ahorro respecto a población total, escenario uno (1). .....	86
<b>Tabla 4-26:</b> Porcentaje gradiente de ahorro respecto a población por género, escenario uno (1). .....	87
<b>Tabla 4-27:</b> Coordenadas planas de los puntos de conexión del escenario dos (2).....	88
<b>Tabla 4-28:</b> Porcentaje de área cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número dos (2).....	91
<b>Tabla 4-29:</b> Porcentaje de población total cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número dos (2). .....	92
<b>Tabla 4-30:</b> Porcentaje de población por genero cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número dos (2). .....	93
<b>Tabla 4-31:</b> Relación de barrios por curva isócrona promedio, población y densidad poblacional, escenario futuro número dos (2). .....	95
<b>Tabla 4-32:</b> Porcentaje gradiente de ahorro en la población total, escenario dos (2). .....	97
<b>Tabla 4-33:</b> Porcentaje de gradiente de ahorro respecto a la población por género, escenario dos.....	98
<b>Tabla 4-34:</b> Coordenadas planas de los puntos de conexión del escenario tres (3).....	99
<b>Tabla 4-35:</b> Porcentaje de área cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número tres (3). .....	102
<b>Tabla 4-36:</b> Porcentaje de población total cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número tres (3). .....	103
<b>Tabla 4-37:</b> Porcentaje de población por genero cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número tres (3). .....	104
<b>Tabla 4-38:</b> Relación de barrios por curva isócrona promedio, población y densidad poblacional, escenario futuro número tres (3). .....	106
<b>Tabla 4-39:</b> Porcentaje de gradiente de ahorro en la población total, escenario tres (3). .....	108
<b>Tabla 4-40:</b> Porcentaje de gradiente de ahorro respecto a la población por género, escenario tres (3). .....	109
<b>Tabla 4-41:</b> Coordenadas planas de los puntos de conexión del escenario cuatro (4)..	110

<b>Tabla 4-42:</b> Porcentaje de área cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número cuatro (4).....	113
<b>Tabla 4-43:</b> Porcentaje de población total cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número cuatro (4).....	114
<b>Tabla 4-44:</b> Porcentaje de población por genero cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número cuatro (4). ....	115
<b>Tabla 4-45:</b> Relación de barrios por curva isócrona promedio, población y densidad poblacional, escenario futuro número cuatro (4).....	117
<b>Tabla 4-46:</b> Porcentaje de gradiente de ahorro en la población total, escenario cuatro (4). ....	119
<b>Tabla 4-47:</b> Porcentaje de gradiente de ahorro respecto a la población por género, escenario cuatro (4). ....	120
<b>Tabla 4-48:</b> Segmento de datos, vector medio de tiempo de viaje para red peatonal....	122
<b>Tabla 4-49:</b> Porcentaje de área cubierta por curvas isócronas para la red peatonal. ....	125
<b>Tabla 4-50:</b> Porcentaje de población total cubierta por las curvas isócronas para la red peatonal. ....	126
<b>Tabla 4-51:</b> Porcentaje de población por genero cubierta por las curvas isócronas para la red peatonal. ....	127
<b>Tabla 4-52:</b> Relación de barrios por curva isócrona promedio, población y densidad poblacional para la red peatonal.....	129
<b>Tabla 4-53:</b> Segmento de datos de vector medio de tiempo de viaje, red ciclorruta. ....	131
<b>Tabla 4-54:</b> Porcentaje de área cubierta por las curvas isócronas, red de ciclorruta. ....	134
<b>Tabla 4-55:</b> Porcentaje de población total cubierta por las curvas isócronas para la red de ciclorruta.....	135
<b>Tabla 4-56:</b> Porcentaje de población por genero cubierta por las curvas isócronas para la red de ciclorruta.....	136
<b>Tabla 4-57:</b> Relación de barrios por curva isócrona promedio, población y densidad poblacional para la red de ciclorruta. ....	138
<b>Tabla 4-58:</b> Segmento de datos de vector medio de tiempo de viaje, red transporte público. ....	141
<b>Tabla 4-59:</b> Porcentaje de área cubierta por las curvas isócronas, red de transporte público. ....	143
<b>Tabla 4-60:</b> Porcentaje de población total cubierta por las curvas isócronas para la red de transporte público. ....	144

---

<b>Tabla 4-61:</b> Porcentaje de población por genero cubierta por las curvas isócronas para la red de transporte público. ....	145
<b>Tabla 4-62:</b> Relación de barrios por curva isócrona promedio, población y densidad poblacional para la red de transporte público. ....	147
<b>Tabla 4-63:</b> Análisis para curvas isócronas de 8 y 10 minutos. ....	148
<b>Tabla 4-64:</b> Análisis para curvas isócronas de 12 y 14 minutos. ....	149
<b>Tabla 4-65:</b> Análisis para curvas isócronas de 16 y 18 minutos. ....	149
<b>Tabla 4-66:</b> Análisis para curvas isócronas de 20 y 22 minutos. ....	150
<b>Tabla 4-67:</b> Análisis para curvas isócronas de 24 y 26 minutos. ....	150
<b>Tabla 4-68:</b> Análisis para curvas isócronas de 28 y 30 minutos. ....	151
<b>Tabla 4-69:</b> Análisis para curvas isócronas de 32 y 34 minutos. ....	151
<b>Tabla 4-70:</b> Análisis para la curva isócrona de 36 minutos. ....	152

# 1 Introducción.

## 1.1 Planeación urbana.

La planeación urbana y del territorio han estado directamente ligadas al desarrollo de los sistemas de transportes y a la visión que los planificadores tengan de las ciudades (Patriksson, 1994). Por esta razón, en el último siglo se han desarrollado modelos de transporte, que se encargan de representar de una forma simplificada la situación de movilidad en las ciudades con el fin de tomar decisiones a corto, mediano y largo plazo (Ortúzar & Willumsen, 2008). Estos modelos toman gran relevancia debido a que justifican grandes inversiones monetarias, lo cual constituye recurso fundamental para las ciudades en el contexto de los países en vía de desarrollo como Colombia. A grandes rasgos, los modelos de transportes se dividen en modelos de demanda y oferta del transporte (Ortúzar & Willumsen, 2008). Los primeros se encargan de cuantificar la demanda que posee el transporte de un territorio generalmente a través de encuestas realizadas a los habitantes y determinando como se mueve una ciudad y cómo se moverá en el futuro. Tradicionalmente este modelo se denomina “modelo de cuatro pasos” a través del cual, los planificadores medían lo que necesitaba una ciudad en el futuro y generaban medidas con el fin de mitigar los futuros problemas (Marvin & Guy, 1999); (Owens, 1995). Sin embargo, dadas las continuas externalidades negativas derivadas del transporte como la congestión, contaminación, accidentalidad y más, esa concepción clásica de predecir y proveer ha ido mutando hasta predecir y prevenir, un pensamiento mucho más sostenible donde se buscan medidas con el fin de disminuir las externalidades derivadas del tránsito (Marvin & Guy, 1999) (Owens, 1995). Por otro lado, los modelos de oferta de transporte se encargan de medir la oferta de este en una ciudad o región entre los que se cuentan: la red de infraestructura vial, los sistemas de transportes público y los equipamientos (salud, educación, recreación, seguridad y emergencias) (Escobar & Garcia, 2012b).

La accesibilidad, siendo un modelo de oferta de transporte, se define como el potencial de oportunidades de interacción que posee un individuo (Hansen, 1959). En este caso, las oportunidades se definen como los diferentes equipamientos en los cuales se puede generar algún tipo de relación, entre los que se cuentan los empleos, educación, hospitales, centros de comercio, entre otros. Asimismo, la accesibilidad es un término que

se ha venido utilizando desde la década de los veinte del siglo pasado en la teoría de la localización y la planificación económica regional en Norte América (Batty, 2009). Por otra parte, (Dalvi & Martin, 1976) definieron este concepto como la facilidad con la que se puede acceder a cualquier actividad de uso del suelo desde una ubicación utilizando un sistema de transporte particular. Además, (Ingram, 1971) dividió la accesibilidad en dos tipos. En primer lugar, la accesibilidad relativa la cual se mide entre dos puntos (Bunge, 1996). En segundo lugar, la accesibilidad integral es la medida desde varios puntos hacia uno o viceversa. Más adelante, (Talen & Anselin, 1998) definieron otro tipo de medida de accesibilidad, la cual se realiza entre todos los nodos de la red vial, tomados cada uno como oportunidades (Batty, 2009). Luego, (Escobar & Garcia, 2012b) realizan una recopilación de las tres (3) medidas y definen esta última como accesibilidad media global.

Por otro lado, es importante destacar los diferentes componentes que posee la accesibilidad como modelo de oferta y que fueron definidos por (Geurs; Ritsema van Eck, 2001). En primer lugar, el componente del uso del suelo donde se tienen en cuenta las diferentes oportunidades de interacción como lo son los equipamientos. En segundo lugar, el componente del transporte donde se tienen en cuenta las particularidades de los sistemas de transporte existentes en una ciudad. En tercer lugar, el componente temporal indica la dinámica que posee la movilidad de una ciudad, donde existen diferentes volúmenes vehiculares a lo largo del día y por lo tanto distintas velocidades de operación. En cuarto lugar, el componente individual se refiere a las distintas condiciones que poseen los habitantes de una ciudad.

La accesibilidad media global, utiliza la red de infraestructura vial para medir las oportunidades de interacción entre todos los nodos de la red vial, teniendo en cuenta las velocidades de operación, siendo esta una expresión de la oferta de transporte (Añez, De la barra, & Pérez, 1996) (Geurs & van Wee, 2004). Asimismo, es una medida de contorno que se apoya en análisis geoestadístico para realizar predicciones a lo largo del territorio, por lo que también se denomina accesibilidad territorial (Cardona, Escobar, & Moncada, 2018b)

A lo largo del mundo, la accesibilidad ha sido utilizada en temas relacionados con: análisis de priorización de proyectos de transporte (Escobar & Garcia, 2012a), desarrollo sostenible del transporte (Vega, 2011), acceso a salud (Yiannakoulis, Bland, & Svenson, 2013), educación (Walsh, Cullinan, & Flannery, 2017), equidad y transporte (Guzman, Oviedo, &



Rivera, 2017), entre otros. Además, en Colombia estos análisis se han utilizado desde principios del siglo XXI, en temas relacionados con la infraestructura del transporte a nivel regional (Sarmiento, Muñoz, & Ángel, 2000); (Cardona, Escobar, & Moncada, 2018a) y urbano, en ciudades como Manizales (Escobar & Garcia, 2012b), Quibdó (Escobar, Urazán, & Moncada, 2017), Riosucio (Caldas) (Escobar, Duque, & Salas, 2014), Pitalito (Huila) (Montoya, Escobar, & Younes, 2018), Bogotá D.C. (Guzman et al., 2017) entre otros.

## **1.2 Objetivos.**

### **1.2.1 Objetivo general.**

Realizar un estudio de accesibilidad territorial urbana mediante análisis geoestadísticos en San José del Guaviare para evaluar la movilidad urbana del municipio y generar una herramienta de planificación útil para el sitio de estudio.

### **1.2.2 Objetivos específicos.**

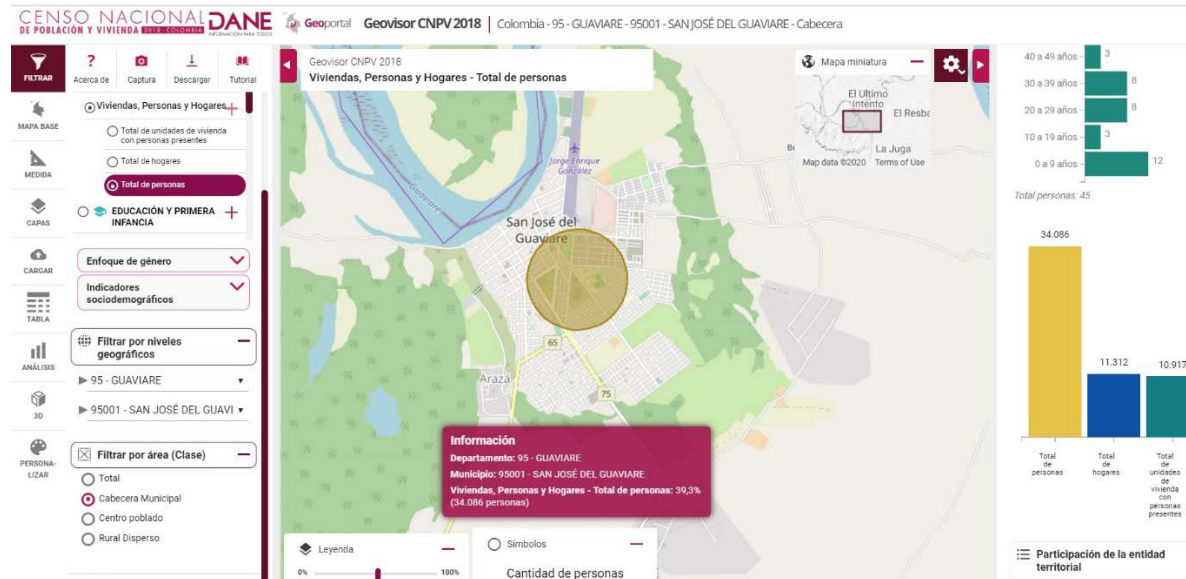
1. Construir y validar la red de infraestructura vial del municipio de estudio a través de software SIG.
2. Determinar las características operativas de la red de infraestructura vial del municipio.
3. Calcular la accesibilidad media global del escenario actual de acuerdo con las condiciones existentes.
4. Determinar la cobertura actual de los nodos de actividad primaria.
5. Calcular la accesibilidad media global y el gradiente de ahorro para escenarios futuros con propuestas de adición de infraestructura vial a la red existente.
6. Calcular la accesibilidad media global para los modos de transporte peatonal, ciclorruta y transporte público y determinar su cobertura en función de los nodos de actividad de actividad primaria.

## **1.3 Zona de estudio, San José del Guaviare.**

El municipio de San José del Guaviare, capital de departamento, está ubicado en el centro sur del país, limita al norte con el departamento del Meta, al sur con los municipios de Calamar y El Retorno y al oriente con el departamento del Guainía, se encuentra a

trescientos noventa y seis (396) kilómetros de la ciudad de Bogotá D.C. con una extensión territorial de dieciséis mil seiscientos cincuenta y cuatro (16.654) kilómetros cuadrados y una altura sobre el nivel del mar de 175 metros, temperatura media de 28° C, su economía se basa principalmente en el comercio, la pesca, la agricultura y la ganadería (Gobernación del Guaviare, 2017). En cuanto a su población urbana cuenta con treinta y seis mil doscientos noventa (36.290) habitantes en la cabecera municipal (DANE, 2018).

**Figura 1-1:** Datos poblacionales de San José del Guaviare.



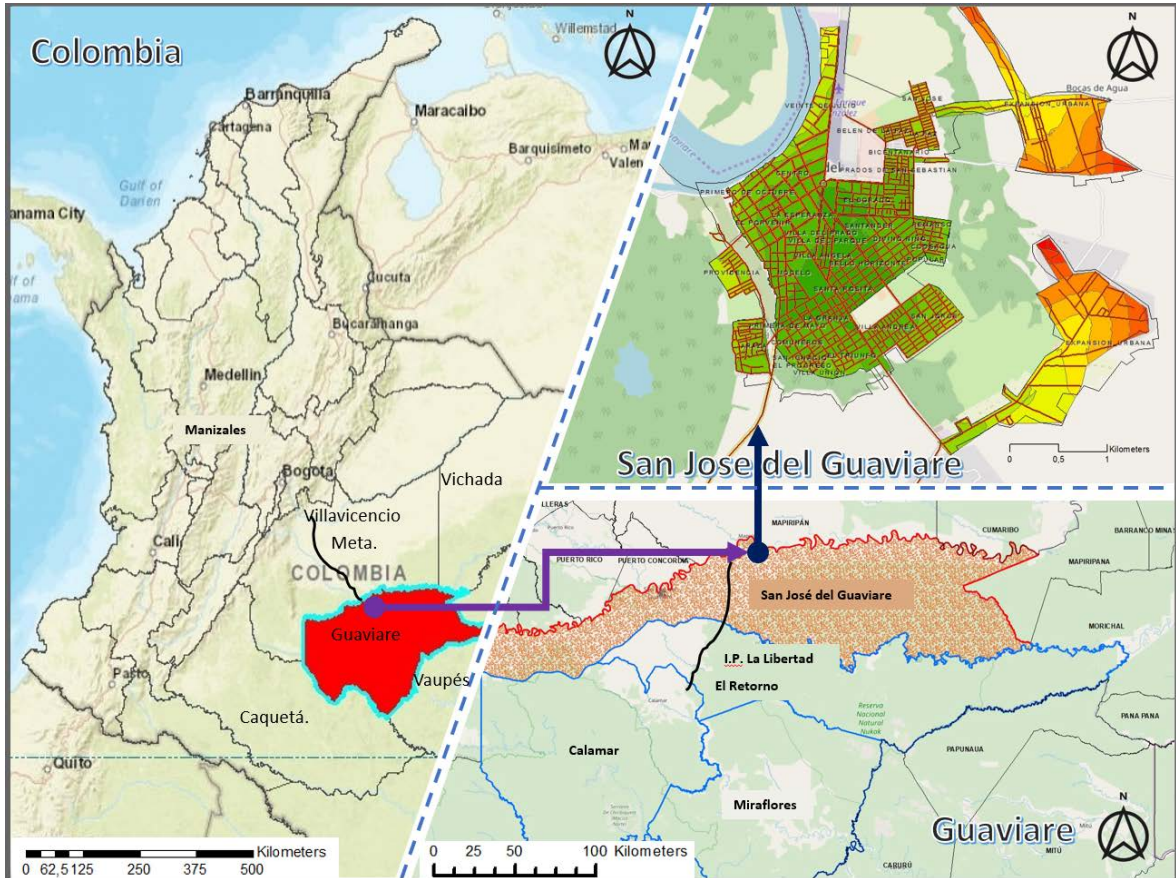
*Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.*

En términos de movilidad urbana, los habitantes realizan desplazamientos usando la red peatonal, en vehículo privado, bicicleta, taxi y en pequeña proporción, moto taxi. Finalmente, el municipio no cuenta con un sistema de transporte público colectivo por lo que no existen viajes relacionados con este modo de transporte, dicho lo anterior, se convierte en uno de los elementos para tener en cuenta para el estudio de accesibilidad territorial urbana.

En cuanto a la conectividad vial regional se comunica por el norte y el sur con las vías nacionales de primer orden con códigos 6507 y 7506 a cargo del INVÍAS. Al norte se conecta con el municipio de Puerto concordia Meta y la ruta de conexión está en pavimento rígido. Hacia el sur se conecta con los municipios de Calamar, El retorno y la inspección de policía de La libertad a través de una vía en destapado con tramos deteriorados de pavimento flexible y rígido, cabe destacar que mediante esta carretera se accede desde el

municipio de Calamar por sistema de transporte fluvial a través del río Unilla a la capital del Vaupés, Mitú.

**Figura 1-2:** Localización del municipio de San José del Guaviare.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

## 1.4 Condiciones actuales de accesibilidad territorial.

En cuanto a planificación territorial urbana, el municipio en estudio no posee las herramientas necesarias para tomar las mejores decisiones a corto, mediano y largo plazo. Asimismo, el plan básico de ordenamiento territorial (PBOT) de San José del Guaviare fue adoptado el 05 de abril del 2001 con vigencia de hasta doce (12) años y venció el 31 de diciembre de 2012, sin que a la fecha se cuente con los estudios definitivos que permitan la actualización de este documento. En el PBOT vigente se encuentra contemplado el capítulo de movilidad de manera general y superflua, sin elementos básicos de planeación como las propuestas técnicas de proyectos que contribuyan a una movilidad eficiente y

sostenible a futuro, por lo que no se puede realizar una evaluación del avance realizado en el área de transporte terrestre relacionado con el PBOT.

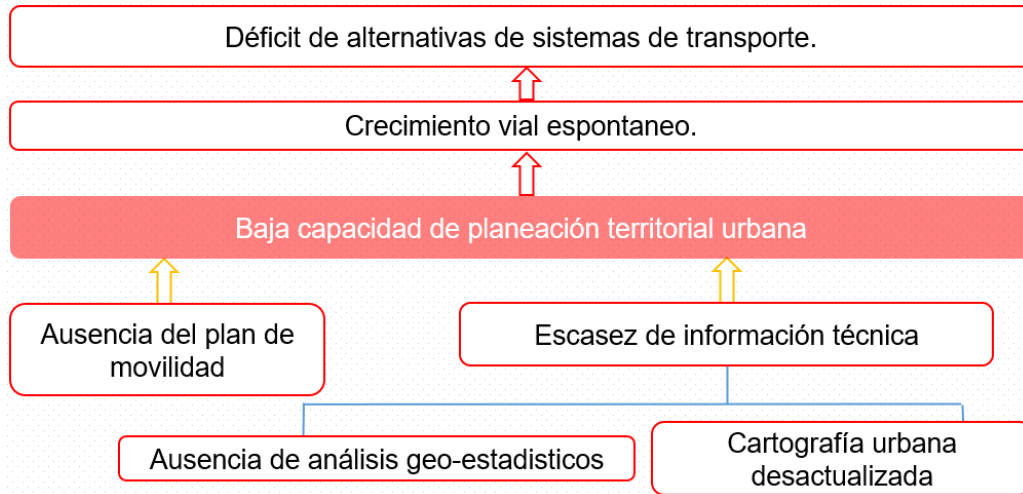
Por estas razones, en este trabajo final de maestría se busca crear una herramienta de planeación que contribuya a mejorar la movilidad urbana del municipio de San José del Guaviare a través de modelos de oferta de transporte, cómo lo es la accesibilidad territorial. Esto permitirá sentar bases técnicas para la planificación de la movilidad urbana organizada, focalizando los proyectos de infraestructura vial y sistemas de transporte a corto plazo que beneficien la adecuada accesibilidad, teniendo cuenta el aspecto social y económico, dicho lo anterior es fundamental dar a conocer los resultados a las entidades públicas competentes con el objetivo de que sean aprovechados de la mejor manera posible.

Por otro lado, siguiendo la metodología propuesta, los cálculos y análisis utilizados para la accesibilidad media global en general no resultan costosos, en términos de dinero, tiempo y software, lo cual brinda gran ayuda en municipios distantes geográficamente y con un presupuesto pequeño como el de San José del Guaviare, teniendo presente que los beneficios económicos, políticos y sociales son altos, dada la capacidad de impacto que posee la accesibilidad a la hora de tomar decisiones que ayuden a un mayor número de personas.

El presente documento está estructurado en siete capítulos, el primero es la introducción donde se aborda de forma detallada el concepto de planeación urbana en conjunto con la accesibilidad territorial, luego se definen los objetivos del estudio y por último se describen las condiciones geográficas y demográficas de la zona de estudio. El segundo capítulo es el marco teórico compuesto por el estado del arte y el marco conceptual aplicable. El tercer capítulo presenta la metodología propuesta en seis etapas secuenciales. El cuarto capítulo es el desarrollo de cálculos y resultados en donde se da aplicación a la metodología propuesta. El quinto capítulo recoge las respuestas buscadas durante el planteamiento metodológico y la generación de resultados a través de las conclusiones y recomendaciones. En el sexto capítulo se cita toda la bibliografía técnica y de complemento usada como soporte científico. Por último, el séptimo capítulo menciona los anexos elaborados como apoyo al desarrollo y validación del estudio.

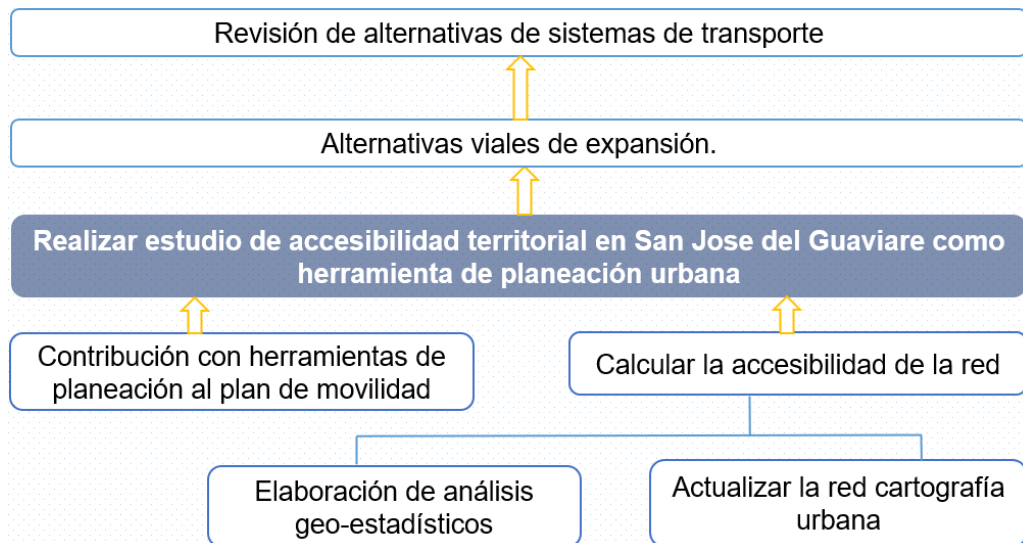
A continuación se presenta el árbol de problemas y objetivos del presente estudio.

**Figura 1-3:** Árbol de problemas.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 1-4:** Árbol de objetivos.



Fuente: Elaboración propia.

Por estas razones, la accesibilidad territorial como modelo de oferta del transporte es una eficaz herramienta para los planificadores de ciudad porque permite apoyar técnicamente la toma de decisiones en el área de la movilidad urbana.



## 2 Marco teórico.

### 2.1 Estado del arte.

La accesibilidad es un modelo de oferta que se ha utilizado de manera habitual por investigadores y planificadores de las ciudades. Tiene como finalidad otorgar un punto de vista a las situaciones que pueden presentarse, tales como: dinámicas de crecimiento, infraestructura de transporte, expansión urbana, usos de suelo (comercial, industrial, recreativo, institucional o residencial), la localización de equipamientos, entre otros (Ingram, 1971).

(Hansen, 1959) planteó la accesibilidad como el potencial de oportunidades de interacción que tiene un habitante, o un grupo de ellos, en un territorio. Adicionalmente, expuso que la accesibilidad tiene dos conceptos básicos: la distancia que las personas deben sobrellevar para llegar a las oportunidades y el interés para sobresaltar dicha distancia. De un modo similar otros académicos han definido la accesibilidad como la forma de llegar a una actividad desde un modo de transporte (Dalvi & Martin, 1976); también se ha dicho que es la determinación que posee alguien para involucrarse en una acción particular (Burns, 1980); o, como la utilidad que tienen los medios de transporte y usos de suelo para los individuos (Ben-Akiva & Lerman, 1979);(Geurs & van Wee, 2004)).

Las anteriores observaciones se relacionaron con lo explicado por (Ingram, 1971), ya que después de analizar la literatura sobre el concepto de “accesibilidad”, definió que esta tiene como propósito determinar la ventaja que posee todo lugar con relación a la superación de variables que frecuentemente son: distancia y tiempo. Por otro lado,(Ingram, 1971) expone que la accesibilidad debe ser subdivida, dado que se pueden realizar dos tipos de mediaciones a partir de ella: accesibilidad relativa y accesibilidad integral. La primera hace referencia a dos nodos situados en la red vial, siendo una medida entre dos puntos de la ciudad. La segunda, por su parte, es la medida que se obtiene de un nodo con respecto al resto de los nodos de la red vial. Cabe señalar que, además de lo expuesto, existe también el término de “accesibilidad global”. Este permite calcular entre todos los nodos de la red vial, y así identificar el desempeño en términos de distancia y tiempo (Escobar & Garcia, 2012b); (Talen & Anselin, 1998).

De igual manera (Pirie, 1979) también analiza la accesibilidad, y determina que a partir de las investigaciones realizadas, se tiene en común las siguientes características: las medidas de distancia (accesibilidad relativa e integral), las medidas de gravedad, las medidas topológicas, las medidas basadas en oportunidades acumuladas, las medidas de origen-destino, y, finalmente, las medidas que incluyen las consideraciones de tiempo.

Más adelante, (Geurs; Ritsema van Eck, 2001), definen la accesibilidad como el grado de ordenamiento de usos de suelo, que permiten a cada habitante o un grupo de ellos, acceder a funciones y demás actividades a través de diferentes modos de transporte. Para exponerlo mejor, parten de los siguientes cuatro (4) componentes:

- Componente de uso del suelo: explica el número, la calidad y la distribución de las oportunidades de interacción (educación, trabajo, distracción, etc.); y, también los viajes más realizados, así como la oferta que existe para hacerlos.
- Componente de transporte: describe la relación entre el modelo de oferta y el modelo de demanda (que se explicarán más adelante) que posee un ciudadano para desplazarse de un lugar a otro, teniendo en cuenta su modo específico de transporte. Para su análisis intervienen distintas variables, a saber: tiempo (incluyendo el tiempo de espera del transporte, el recorrido y el tráfico), costos (precio del transporte público y el coste total en vehículo privado), y por último, las variantes de comodidad, confianza en el viaje y seguridad.
- Componente temporal: tiene presente las diferentes oportunidades que se dan a lo largo del día.
- Componente individual: hace referencia a las características particulares que puede tener cada ciudadano, por ejemplo: las particularidades —que se derivan de la edad, el género y el grado educativo—; las habilidades —que dependen de la condición física y permiten la utilización de diferentes modos de transporte—; y las oportunidades —que van relacionadas al ingreso económico y el presupuesto que de allí se genere para los viajes o desplazamiento.

Más adelante, (Geurs & van Wee, 2004), complementan el anterior estudio exponiendo otros factores que poseen las mediciones de accesibilidad:

- Perspectiva basada en infraestructura: se analiza el grado del sistema y la calidad del transporte, así como el tráfico y la rapidez media del territorio vial.



- Perspectiva basada en equipamientos: se examina la accesibilidad que se tiene a distintas actividades y servicios. Además, es importante para el planeamiento urbanístico.
- Perspectiva basada en personas: es el estudio de las actividades que pueden realizar las personas en un determinado tiempo, y que a su vez, está limitado por los medios de transporte ofertados en la zona.
- Perspectiva basada en utilidades: observa los beneficios económicos generados por las actividades.

En resumen, la accesibilidad se ha empleado para contestar a las distintas situaciones que se pueden presentar en una ciudad, tales como: la correcta planeación del transporte público e infraestructura vial, llevando así un estudio de las variables que influyen en el desplazamiento adecuado de una persona en determinada zona o servicio.

Por otro lado, la accesibilidad media global —que es esencial para la presente investigación—, analiza el vínculo entre el tiempo y la distancia de los nodos que se encuentran en la red vial (Talen & Anselin, 1998). Ahora bien, para evaluar dicha relación se hace necesario utilizar la teoría de grafos y el algoritmo de caminos mínimos de (Dijkstra, 1959) para obtener la matriz de tiempos de viaje, la cual tiene como insumos de cálculo la longitud y la velocidad, las cuales pueden ser obtenidas a través de mediciones en campo o solicitudes de datos recolectados por fuentes en línea como Google Maps o Waze (Cui & Levinson, 2018); (Lahoorpoor & Levinson, 2020).

Hasta la fecha no se han realizado estudios de accesibilidad media global en el territorio de San José del Guaviare, y tampoco en la zona de Orinoquía, por lo que esta investigación se hace crucial para determinar una planificación de movilidad más organizada. A continuación, se explicará los términos más recurrentes en el texto:

## **2.2 Marco conceptual.**

### **2.2.1 Sistema de movilidad urbano.**

El Sistema de movilidad urbano hace referencia al plan organizacional de un territorio municipal, que a su vez es delimitado por el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) o Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT).

Ahora bien, para saber cuál es el instrumento de planificación adecuado para cada sector, se hace necesario remitirse a la ley 388 de 1997. Esta ley establece que para un municipio que posea una población de menos de 30.000 habitantes se debe formular EOT, para el caso de un municipio que contenga entre 30.000 y 100.000 habitantes se debe realizar PBOT y POT para grandes ciudades con población mayor a 100.000 habitantes.

En general, el sistema de movilidad urbano integra de forma interdependiente los distintos modos de transporte de un territorio determinado, teniendo en cuenta los tipos de vías existentes, los espacios públicos y el territorio rural. Es por lo anterior que en la presente investigación se tomará en cuenta PBOT del municipio San José del Guaviare, capital del departamento del Guaviare, para realizar un diagnóstico del funcionamiento de la movilidad y planificar una PBOT más organizado, que beneficie a la mayor parte de la población, teniendo en cuenta su aspecto socioeconómico.

Por otro lado, es necesario tener en cuenta las vías que se van a estudiar en este caso son las contenidas en el casco urbano y zonas perimetrales. Ahora, se debe tener presente que la red vial urbana tiene la siguiente clasificación de las vías.

### **2.2.2 Clasificación de la red vial urbana según el PBOT.**

La red vial urbana del municipio de San José del Guaviare tiene la siguiente clasificación según el plan básico de ordenamiento territorial vigente del municipio.

I. VU-1: Vía urbana de primer orden, primaria o principal.

Son las vías que permiten el enlace del área urbana con las vías rurales. Su función es la de garantizar un fácil acceso desde las demás zonas urbanas. Permiten la división del área del casco urbano en sectores y se caracterizan por el ancho de su perfil vial, por su función de conectar polos de atracción de la actividad urbana y están orientadas a canalizar el tráfico urbano público y las actividades urbanas intensivas en empleo. Las vías urbanas principales que se articulan con las vías urbanas regionales conforman el sistema vial urbano - regional, cuya función es la de vincular el área urbana creando una permeabilidad de la ciudad con respecto a los flujos vehiculares regionales. (Alcaldía de San José del Guaviare, 2002).

II. VU-2: Vía urbana de segundo orden o secundaria.

Son las vías que permiten una comunicación directa, entre las áreas verdes y comunales de los diferentes sectores urbanos, tanto a nivel vehicular como peatonal. Además unen los centros de servicios comunales con las vías urbanas principales, siendo las comunitarias principales. (Alcaldía de San José del Guaviare, 2002).

III. VU-3: Vía urbana local.

Son las vías que permiten el acceso a los diferentes predios urbanos conformando una malla integrada al sistema vial general. Su función es de servicio interno a las áreas intensivas de vivienda y empleo, están orientadas a canalizar principalmente los flujos peatonales de los diferentes predios urbanos integrados a la malla del sistema vial general. (Alcaldía de San José del Guaviare, 2002).

IV. VU-4: Vía urbana de acceso.

Son aquellas que enlazan las viviendas, sus áreas de aparcamiento adyacentes y espacios abiertos comunes, con las calles locales. (Alcaldía de San José del Guaviare, 2002).

V. VUP: Vía urbana peatonal.

Son vías de uso exclusivamente peatonal. (Alcaldía de San José del Guaviare, 2002).

### **2.2.3 Modelos de transporte.**

Los modelos son representaciones que buscan explicar la realidad de una manera sintetizada y, además, ayudan a reducir la complejidad de dichos escenarios para su eventual análisis (Ortúzar & Willumsen, 2008). Ahora bien, es importante tener presente que los modelos se dividen en: modelos físicos y modelos abstractos (Cardona, 2018). Los primeros muestran la representación mecánica del escenario que se debe analizar y tienen como finalidad replicar los materiales y las condiciones de operación a las que estará expuesta la obra. A su vez, los modelos abstractos, al ser ideales, solo existen por construcciones de la mente humana. Sin embargo, esto no quiere decir que no se basen en lo empírico. La matemática, por ejemplo, si bien es abstracta, cimienta sus teorías a partir de objetos naturales y sociales.

Además, el transporte tiene una gran relevancia a la hora de planificar, construir y desarrollar una ciudad. Esto sucede por la necesidad que tienen los individuos de desplazarse de un lugar a otro, ya sea por trabajo, estudio, recreación, etc. Para acercarse al lugar de dichas actividades los habitantes deben, necesariamente, recurrir a la

infraestructura vial que tengan en el momento; y los planificadores viales deben igualmente observar si el desarrollo de dicha infraestructura responde a un desplazamiento más rápido, seguro y eficiente (Patriksson, 1994); (Wright, Ashford, & Stammer, 1997).

Con la invención del automóvil las ciudades comenzaron a tener problemas con la congestión, contaminación auditiva, la polución y las altas tasas de accidentalidad. Esto sucedió por la planificación incorrecta, ya que daba como prioridad ofrecer una infraestructura para el vehículo privado (Owens, 1995). Si bien los investigadores calculaban y proyectaban las dificultades que se podían presentar en el futuro, en la mayoría de ocasiones las soluciones eran la ampliación de vías, la construcción de autopistas o conexiones a desnivel, lo que dejaba de lado a los problemas que solo incurrían en el peatón.

Sin embargo la concepción anterior, que se conoce como “predecir y proveer”, cambió (Te Brömmelstroet & Bertolini, 2011). El enfoque actual tiene como intención relevar la demanda mediante acciones que sean más eficientes a lo largo del tiempo y se identifica como “predecir y prevenir” (Marvin & Guy, 1999); (Owens, 1995). Más tarde, las políticas de desarrollo se orientaron en alcanzar una planificación sustentable con el fin de dejar de lado el modelo clásico de proyección (Banister, 2008). Además del paradigma clásico, también se debe recordar el enfoque institucional que se producía. Dicho enfoque tomaba como punto de partida la creencia de que existían pocas partes involucradas en términos de transporte y movilidad; sin observar las diversas instituciones estatales y privadas que se involucran en el tema, sin dejar de lado a los mismos habitantes.

Expuesto lo anterior, se explicará los dos tipos de modelos de transporte: los modelos de demanda y los modelos de oferta. Los modelos de demanda permiten evaluar los flujos de vehículos o pasajeros que posiblemente habrá en una red de transporte. Ahora bien, se debe tener presente que este tipo de modelos responde, de la mejor manera posible, a una necesidad de desplazamiento, que involucra variantes como manejo de tiempos, tráfico, y las accidentalidades que se puedan presentar (Ortúzar & Willumsen, 2008); (Wright et al., 1997).

A partir de la demanda de transporte es posible analizar los diferentes horarios y tráficos que se pueden dar en transcurso del día (horario valle y horario pico), los distintos modos de transporte (motocicleta, vehículo privado, vehículo de carga, transporte público, cable aéreo, buses, metro, colectivos tradicionales, bicicleta o caminata), junto a las velocidades y las capacidades de cada modo de transporte (Mitullah, Vanderschuren, & Khayesi, 2017).

La demanda, a su vez, es espacial. Esto se debe a que ocupa un lugar en la ciudad y los recorridos se pueden efectuar de un sitio a otro. Por lo regular, para estudiarla, el territorio se fracciona en zonas de análisis de transporte (ZAT), y además, tiene en cuenta aspectos como: usos de suelo, tamaño, accesibilidad al transporte y factores socioeconómicos; que, tomados en conjunto, permiten revisar las características particulares de cada zona y determinar un cálculo financiero (Amézquita, Durán, & Fajardo, 2016). El modelo utilizado para describir la demanda del transporte en una ciudad históricamente cumple cuatro pasos los cuales se describen a continuación (Chicago Area Transportation, 1959); (Woldeamanuel, 1975) (Agrawal, Udmale, & Sambhe, 2018).

- Generación de atracción de viajes: se registran los datos de origen-destino de los ciudadanos, con la finalidad de conocer los tiempos de viaje y los diferentes modos de transporte utilizados. Ahora, para recolectar dichos datos, se hace necesario recurrir a las encuestas, tanto en el hogar como a la hora misma de movilizarse (Fleet & Robertson, 1968).
- Distribución de viajes: se estudian los recorridos realizados en distintas zonas de análisis de transporte (ZAT), distribuyéndose en una matriz origen-destino (Cesario, 1974).
- Partición modal: se determinan los modos de transporte utilizados en los viajes analizados a través de la matriz origen-destino. Comúnmente, se divide en matriz de viaje por vehículo privado y matriz de viaje por transporte público. Este tipo de viajes se encuentran enlazados a las cuestiones de costo, seguridad, comodidad, velocidad, etc. (Duarte, Mendoza, Arévalo, & Guerrero, 2015).
- Asignación de viajes: se encarga, como su nombre indica, de fijar los recorridos a los habitantes de determinada zona, teniendo en cuenta el modo de transporte utilizado en la red vial y el tiempo de viaje (Patriksson, 1994); (Spiess & Florian, 1989).

Por otro lado, los modelos de oferta tienen como objetivo determinar el transporte ofrecido en una ciudad o territorio. Este transporte es entendido como un servicio y no como algo que se puede distinguir por etapas (como el modelo de demanda), dado que si no es utilizado en el momento que se produce, se pierde. Para entenderlo mejor supongamos que para llegar a nuestro trabajo debemos tomar un bus de transporte público, y que los puestos máximos ocupados a esa hora son 17, aunque el bus tenga una capacidad para 30 personas. Ahora bien, esos 13 puestos no son acumulables para otras rutas, dado que no se pueden guardar sino se utilizan en el momento mismo en que son ofertados (Añez et al., 1996).

Por lo anterior, se hace necesario predecir de la manera más precisa posible la demanda, para ofertar los servicios adecuados a determinada zona (Ortúzar & Willumsen, 2008). Los modelos de oferta hacen parte de lo que se denomina accesibilidad, que se explicó ya en el estado del arte.

#### **2.2.4 Kriging ordinario predictivo.**

Kriging es un interpolador que puede ser exacto o suavizado según el modelo de error de medición. Es muy flexible y permite investigar gráficos de correlación automática y cruzada espacial. Kriging utiliza modelos estadísticos que permiten una variedad de superficies de salida que incluyen predicciones, errores estándar de predicción, probabilidad y cuantil. La flexibilidad de Kriging puede requerir mucha toma de decisiones. Kriging supone que los datos provienen de un proceso estocástico estacionario, y algunos métodos suponen datos distribuidos normalmente.

El Kriging ordinario asume este modelo,

$$Z(s) = \mu + \varepsilon(s), \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde  $\mu$  es una constante desconocida. Una de las principales cuestiones relacionadas con el Kriging ordinario es si la suposición de una media constante es razonable. A veces hay buenas razones científicas para rechazar esta suposición. Sin embargo, como método de predicción simple, tiene una flexibilidad notable. (ArcGIS, n.d.).

#### **2.2.5 Análisis geodésico, MAGNA - SIRGAS.**

El sistema de referencia geocéntrico para las Américas (SIRGAS) presenta coordenadas asociadas a una época de referencia y su variación en el tiempo es tomado en cuenta ya

---

sea por un modelo continuo de velocidades o por velocidades individuales de las estaciones SIRGAS. La conversión de coordenadas geocéntricas a coordenadas geográficas se realiza usando los parámetros del elipsoide GRS80.(IGAC, 2004)

SIRGAS es la extensión del ITRF en América; no obstante, dadas las características técnicas de los sistemas GNSS, debe ser densificado para satisfacer los requerimientos en precisión de los usuarios de información georreferenciada en los diferentes países que la conforman. En Colombia, se inició a partir de las estaciones SIRGAS la determinación de la Red Básica GPS, denominada MAGNA (Marco Geocéntrico Nacional de Referencia) que, por estar referida a SIRGAS se denomina convencionalmente MAGNA-SIRGAS.(IGAC, 2004)

En Colombia se utilizan básicamente tres tipos de coordenadas: las cartesianas tridimensionales, las curvilíneas o elipsoidales y las planas de proyección, las cuales pueden ser Transversa de Mercator o cartesianas bidimensionales. Si bien, cada uno de estos tipos tiene sus ventajas y desventajas, en esencia, son tres formas diferentes, pero equivalentes, de establecer la ubicación geográfica de un punto.(IGAC, 2004).

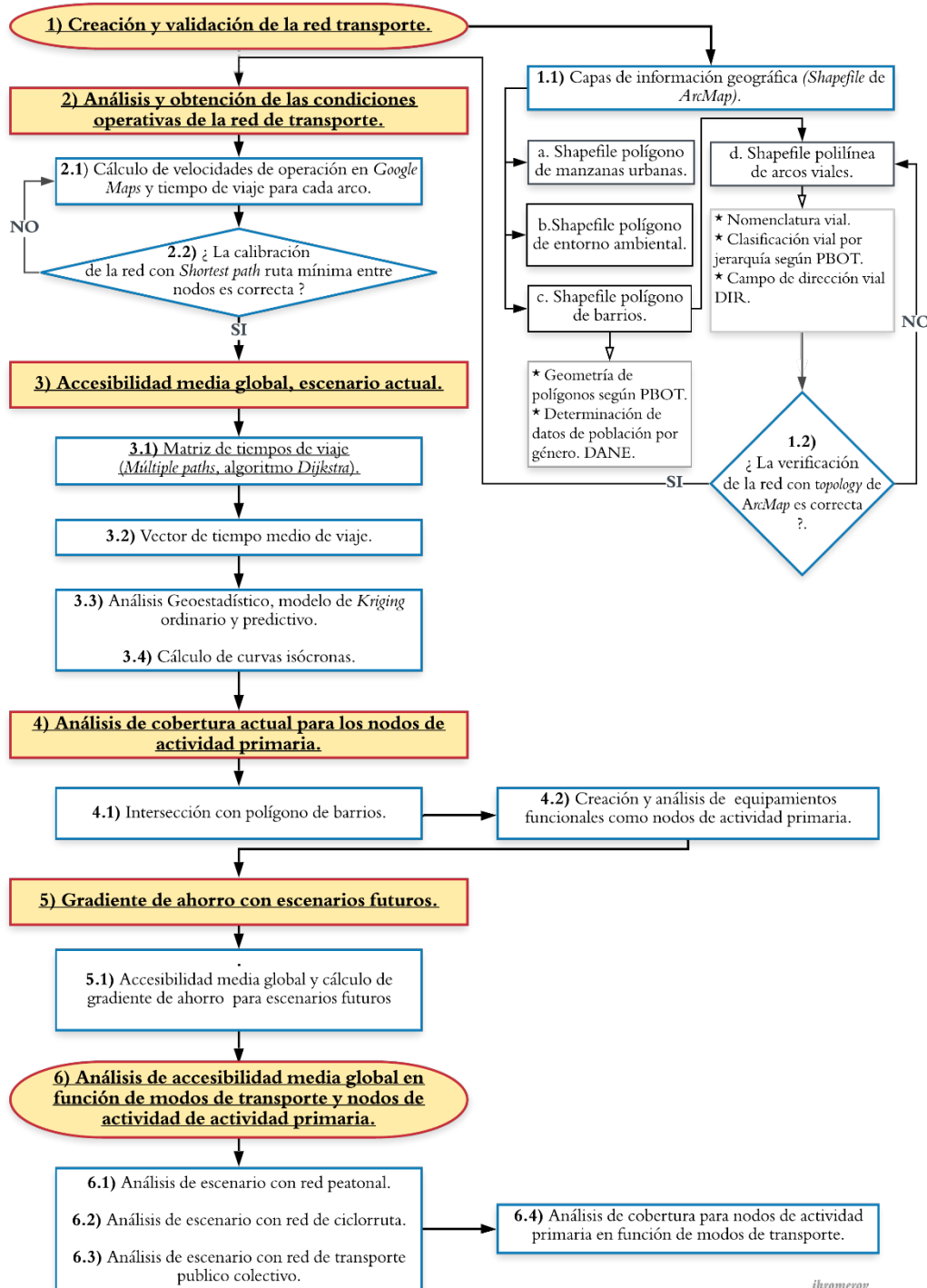




### 3 Metodología.

La metodología de trabajo está compuesta por seis (6) etapas secuenciales como se muestra en la figura 3-1. Mas adelante se detalla de forma más específica cada etapa.

Figura 3-1: Metodología de trabajo de grado.



Fuente: Elaboración propia a partir de herramienta de diagramación web Lucidchart.

## **3.1 Creación y validación de la red de transporte.**

En esta primera etapa se realiza la creación de las capas de información geográfica de polígonos de manzanas urbanas, entorno ambiental, barrios y arcos viales mediante el programa ArcMap, principal componente de los programas de procesamiento geoespacial ArcGIS (10.2.1) para mapas de la empresa ESRI.

Para el cálculo de las variables es indispensable contar con la infraestructura de la red vial, dado que si esta no existe, tampoco es posible determinar los modos de transporte que dan accesibilidad a un sitio en específico. Ahora bien, su construcción debe seguir ciertas sugerencias; en primer lugar, tener presente lo establecido en la teoría de grafos, la cual establece que la red vial debe edificarse bajo arcos (vías) y nodos (intersecciones viales) (Bunge, 1996); posterior a esto se hace la verificación de la topología de la red, con la cual se garantiza que los arcos y nodos se encuentran perfectamente graficados.

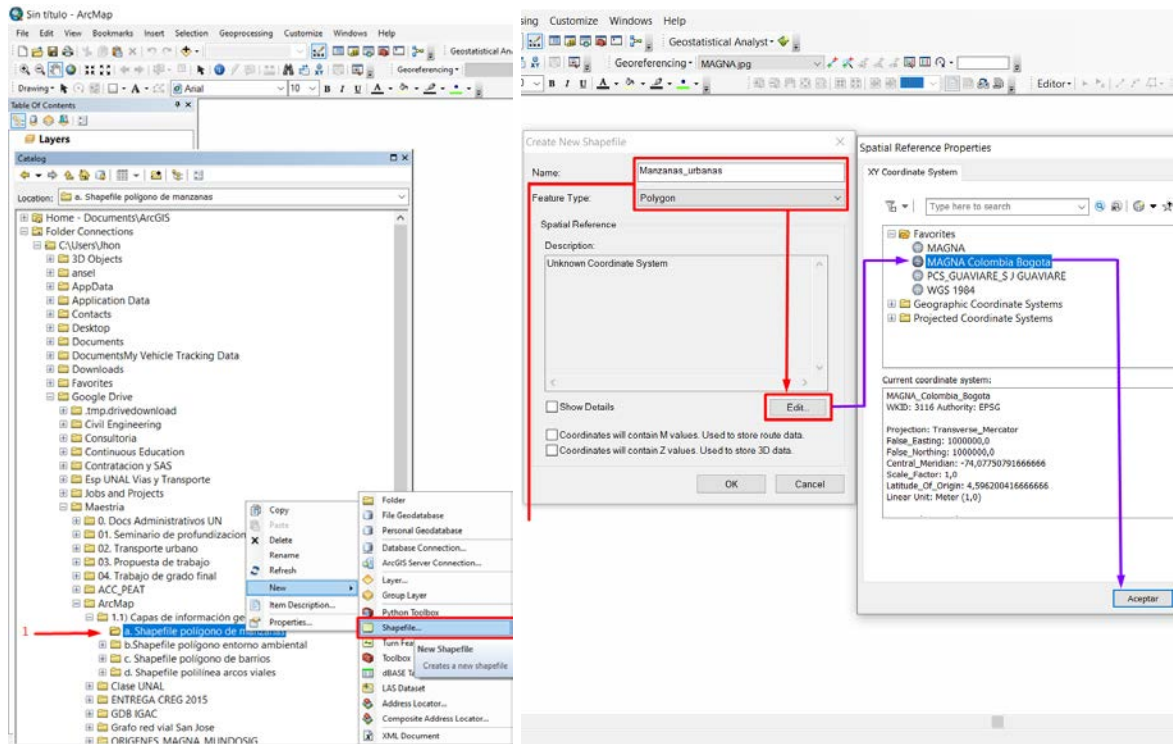
### **3.1.1 Capas de información geográfica (*Shapefile* de ArcMap).**

El Instituto geográfico Agustín Codazzi ha publicado la resolución 471 del 14 de mayo de 2020 con nuevas especificaciones técnicas mínimas para la cartografía básica oficial de Colombia y entre las disposiciones se indica un único origen de coordenadas MAGNA SIRGAS. (IGAC, 2020), ahora bien para efectos prácticos del desarrollo de los cálculos de accesibilidad se puede definir con certeza la zona de origen a la cual pertenece el municipio de San José del Guaviare de acuerdo con el anterior marco geocéntrico nacional de referencia MAGNA SIRGAS adoptado como datum oficial para Colombia (IGAC, 2004).

#### *3.1.1.1 Polígono de manzanas urbanas.*

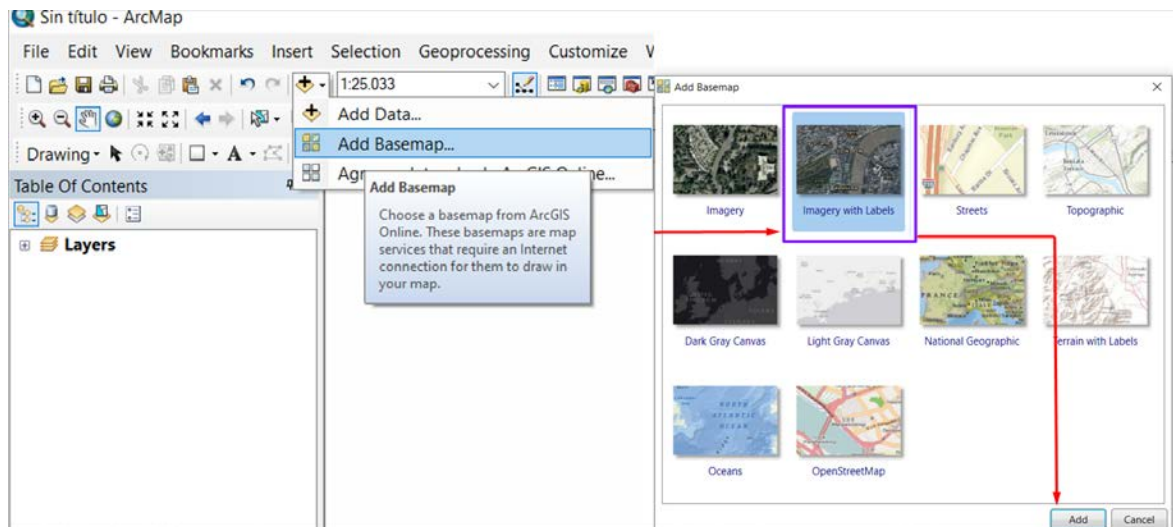
La obtención de esta cartografía se puede hacer por medio de las capas de mapa base que vienen incorporadas en el software ArcMap o del mapa urbano del municipio en estudio, el proceso a seguir consiste en digitalizar la geometría de los polígonos de las manzanas urbanas como se define a continuación.

**Figura 3-2:** Creación de *Shapefile* polígono de manzanas urbanas.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

**Figura 3-3:** Cargue de mapa base *Imagery with labels* de ESRI en ArcMap.

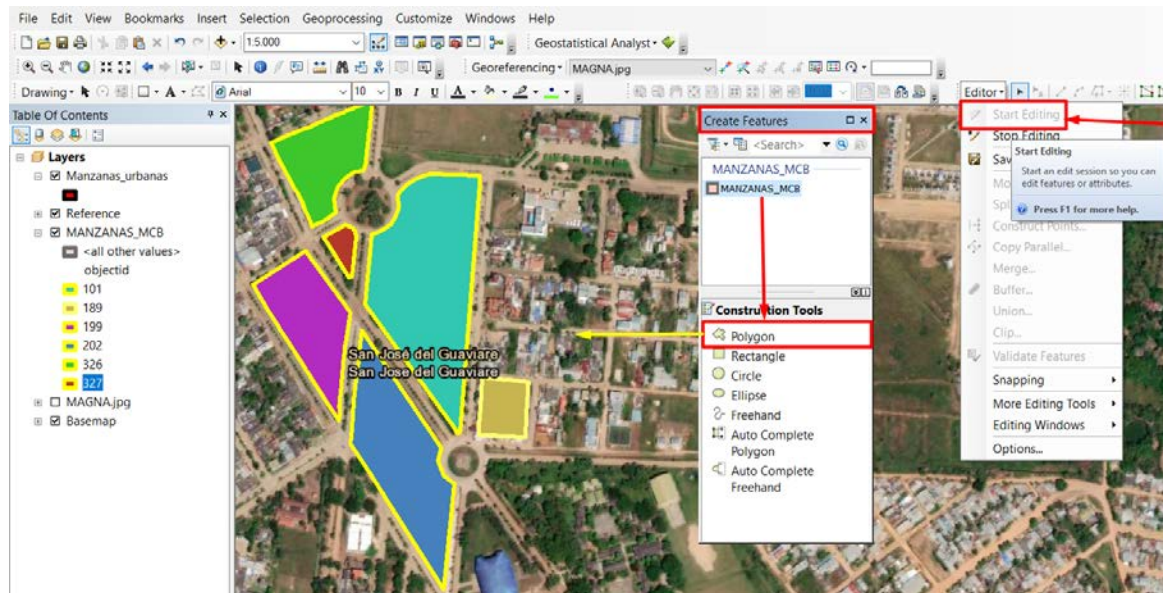


Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

Con los dos pasos anteriores se debe realizar la correcta digitalización por medio de la barra del editor, opción inicio de edición *Star Editing*, luego se debe buscar la herramienta crear características *Create features* y mediante las herramienta de construcción digitalizar

por medio de polígonos la totalidad de las manzanas del municipio de San José del Guaviare.

**Figura 3-4:** Generación de polígonos de manzanas urbanas.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

### 3.1.1.2 Polígono de entorno ambiental.

Se debe realizar análisis espacial del entorno ambiental donde se identifiquen ríos, áreas de protección y zonas de humedal próximos al casco urbano del municipio para su posterior digitalización en ArcMap según proceso descrito en las figuras [3.2](#), [3.3](#) y [3.4](#). Lo anterior responde a la debida planificación del espacio territorial urbano y cómo los determinantes ambientales moldean la expansión de una urbe. Como fuentes de información se debe consultar el plan básico de ordenamiento territorial, el plan de manejo y ordenamiento de una cuenca y planes de manejo ambiental sectoriales. El alcance del estudio está limitado a la identificación geográfica, en caso de encontrarse con situaciones especiales se debe acudir al apoyo de especialistas en la materia.

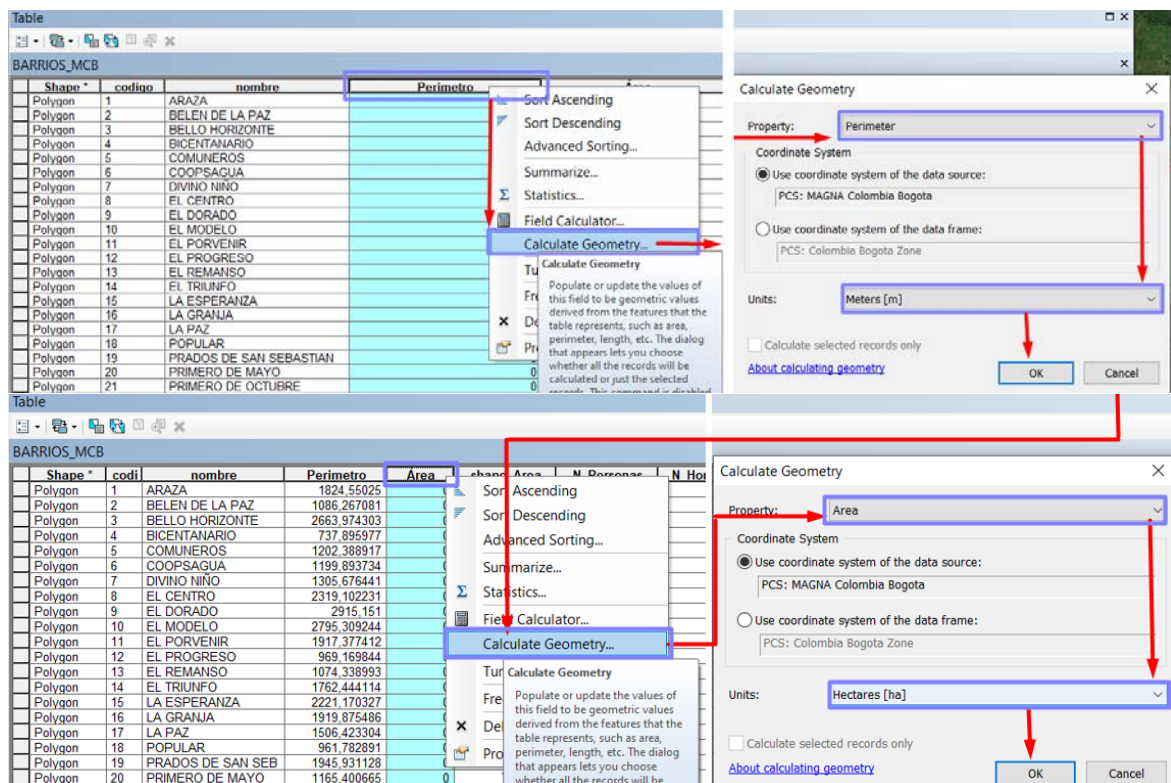
### 3.1.1.3 Polígono de barrios.

La geometría de esta capa de información se puede obtener a través del mapa urbano del municipio en estudio, donde se establece la división político-administrativa de barrios y manzanas que debe ser digitalizada en ArcMap según proceso descrito en las figuras [3-2](#), [3-3](#) y [3-4](#) y de acuerdo con el plan básico de ordenamiento territorial vigente.

Teniendo definida la geometría que delimita los barrios, se procede a la creación de la *attribute table* (tabla de atributos) la cual debe contener el nombre, perímetro y área de polígonos, número de hombres y mujeres por barrio y la densidad poblacional calculada en persona por hectárea,

Para el cálculo del perímetro y área de polígonos se debe usar el cuadro de dialogo *Calculate geometry* (calcular geometría) teniendo muy presente que se use el sistema de coordenadas adecuado con proyección transversal de Mercator datum Bogotá, de esta manera se garantiza que los cálculos matemáticos sean planimétricos es decir cuyo campo de acción es un espacio proyectado y no geodésico. Las unidades de trabajo para el perímetro y el área son metros y hectáreas respectivamente.

**Figura 3-5:** Cálculo de perímetro y áreas de barrios.



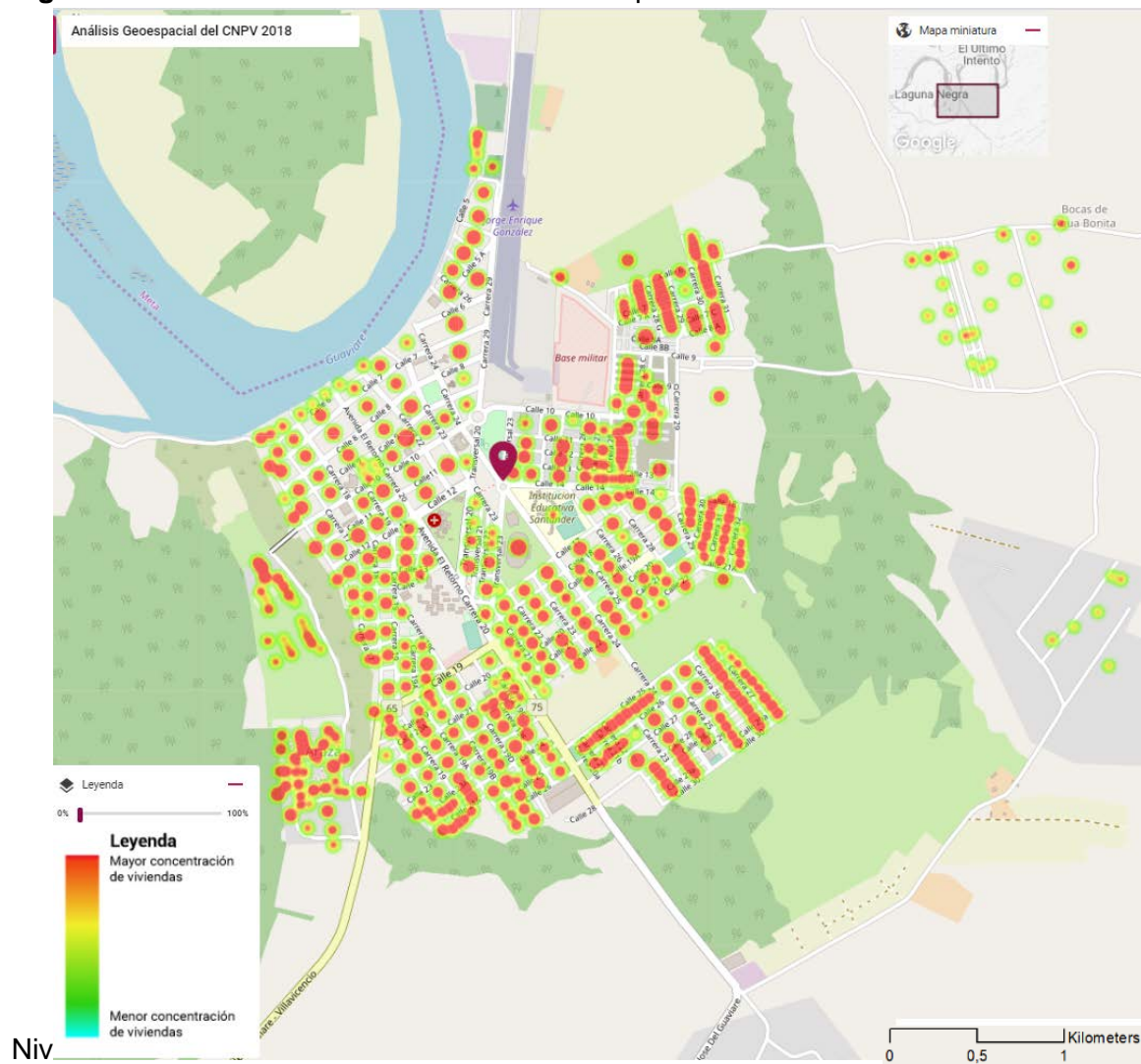
Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

El siguiente atributo por calcular es el número de hombres y mujeres por barrio de acuerdo con el geoportal del DANE, opción “Análisis Geoespacial del CNPV 2018”, el cual se basa en los datos del censo nacional de población y vivienda 2018 y permite la consulta interactiva según la delimitación de un área en específico. El resultado es la estimación en

vivendas, hogares y personas por género, para el presente trabajo se busca obtener la información demográfica, respecto a la división político-administrativa de barrios en el casco urbano de San José del Guaviare.

Por otro lado, el visor realiza un análisis espacial por mapa de calor a partir de la densidad de casas por manzana, permitiendo de forma rápida conocer cómo se distribuyen las zonas de uso residencial en el contexto urbano, a continuación se presenta el resultado para este caso de estudio en donde se evidencia que a excepción de los nodos de actividad primaria la mayor parte de las manzanas son residenciales y que existe un desarrollo residencial no previsto en áreas periféricas como lo son Arazá, providencia y Villa Alejandra.

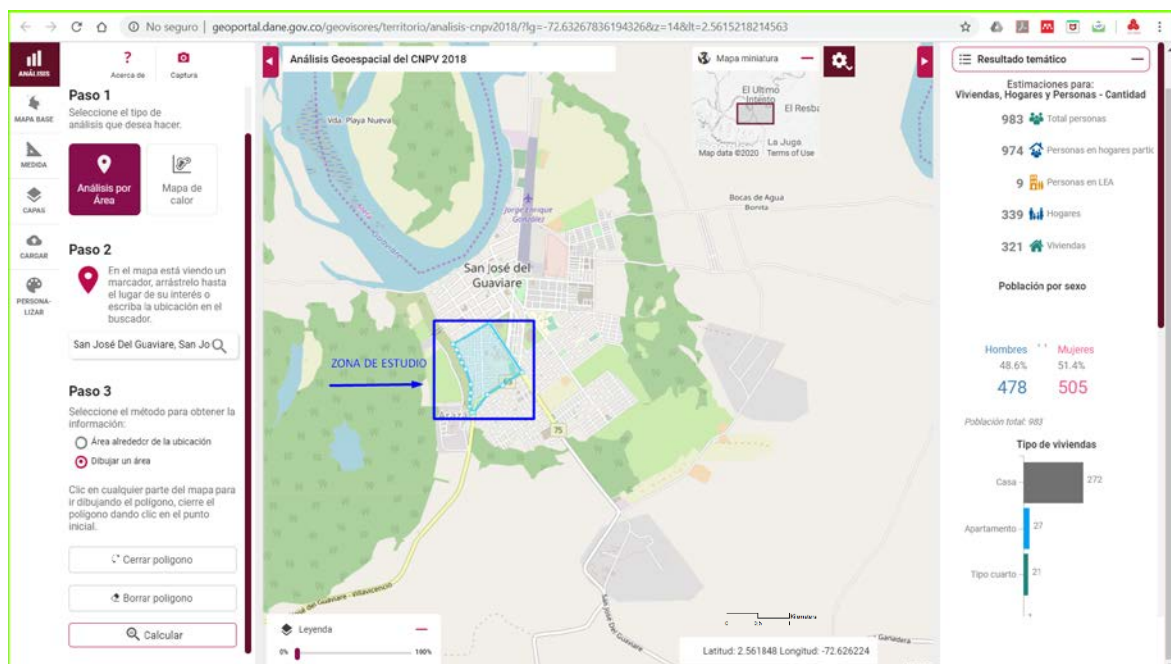
**Figura 3-6:** Nivel de concentración de viviendas por manzana.



Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Posterior a la anterior representación de densidad poblacional, se delimitan todos los barrios y zonas residenciales de expansión urbana presentes en la zona de estudio con la aplicación del geoportal del DANE, opción “Análisis Geoespacial del CNPV 2018”. El primer paso consiste en definir el tipo de análisis por área, el segundo paso es localizar el sector de influencia de San José del Guaviare y el tercer paso es seleccionar el método de obtención de información, para el presente trabajo se escoge la herramienta de creación de los respectivos polígonos de barrios de acuerdo con la división político-administrativo del municipio.

**Figura 3-7:** Proceso de cálculo de población por área.

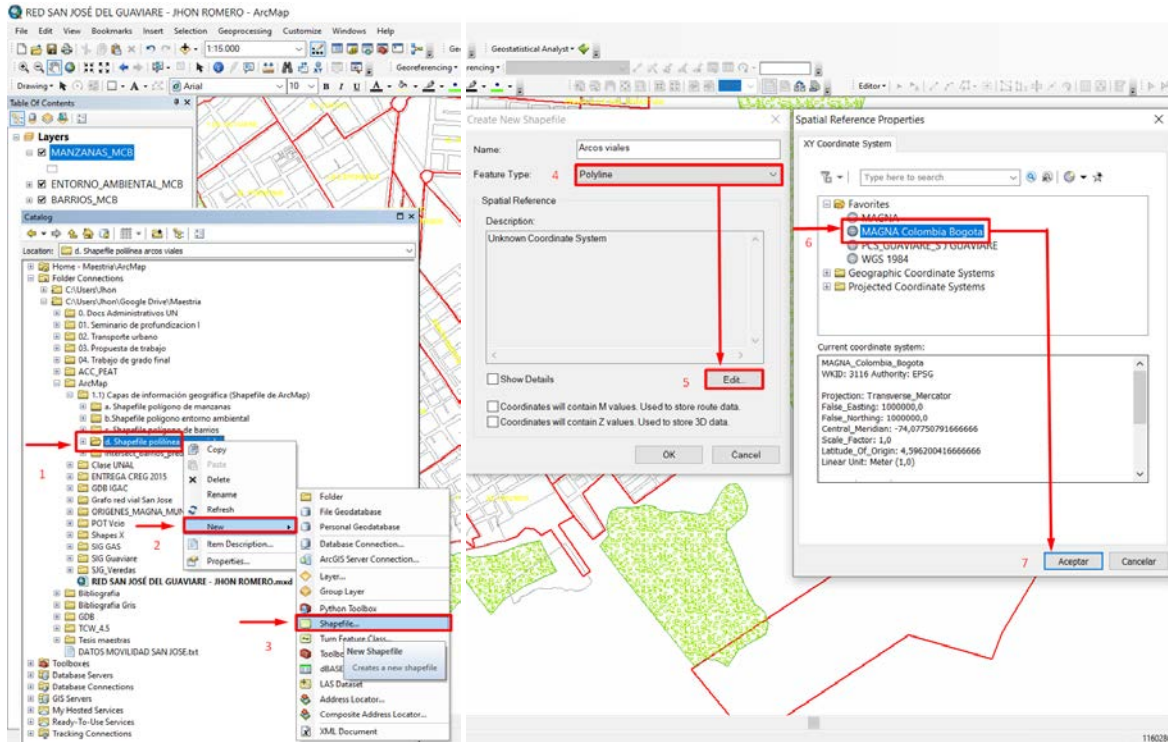


Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Enlace: <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/territorio/analisis-cnpv2018>.

### 3.1.1.4 Polilínea de arcos viales.

El proceso a seguir para digitalizar cada tramo de vía como una polilínea inicia con la creación del Shapefile tipo “polyline” bajo el sistema de coordenadas MAGNA Colombia Bogotá, según figura 3-8 teniendo presente que en cada intersección debe generarse un nodo.

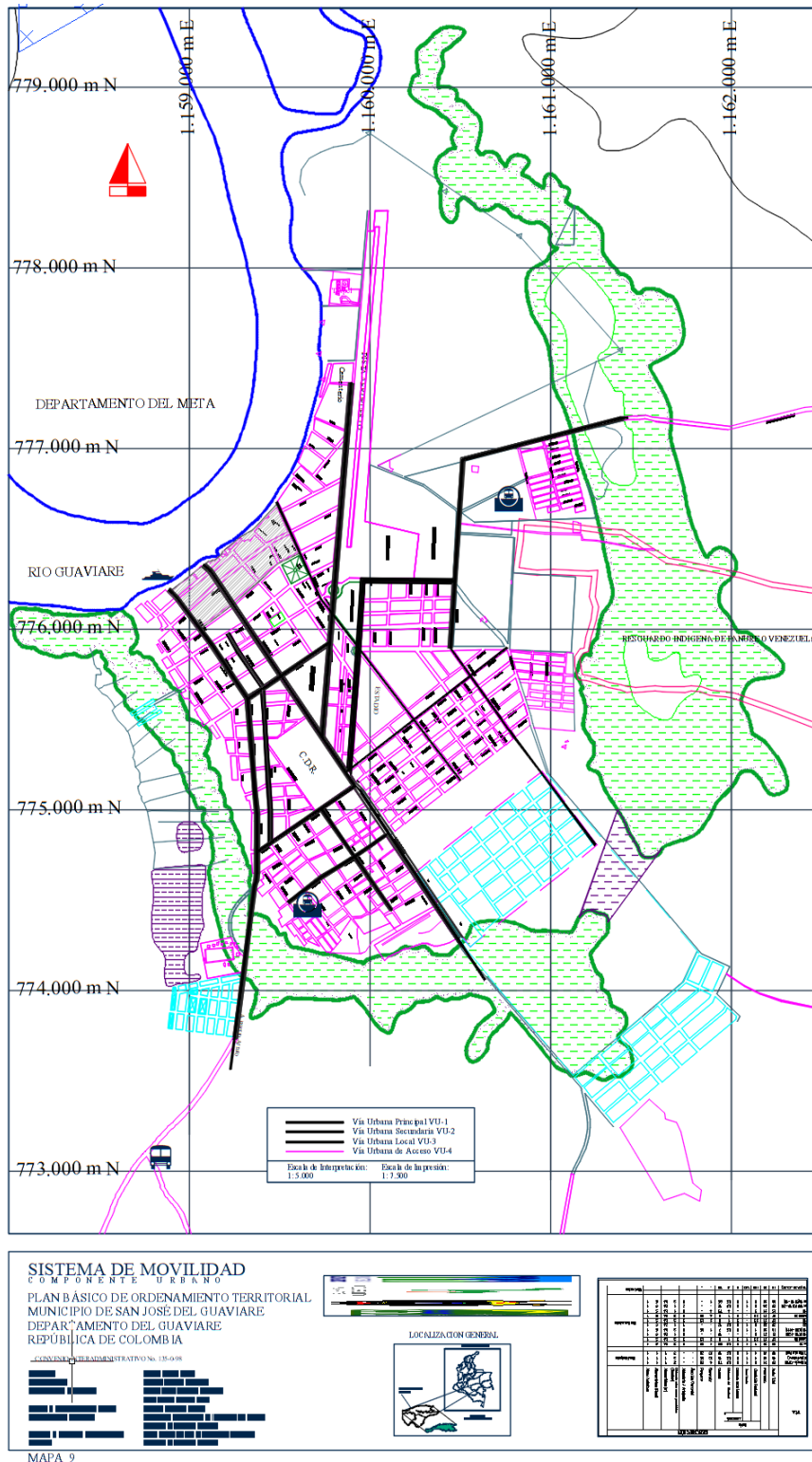
**Figura 3-8:** Creación de Shapefile polilínea de arcos viales.

Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

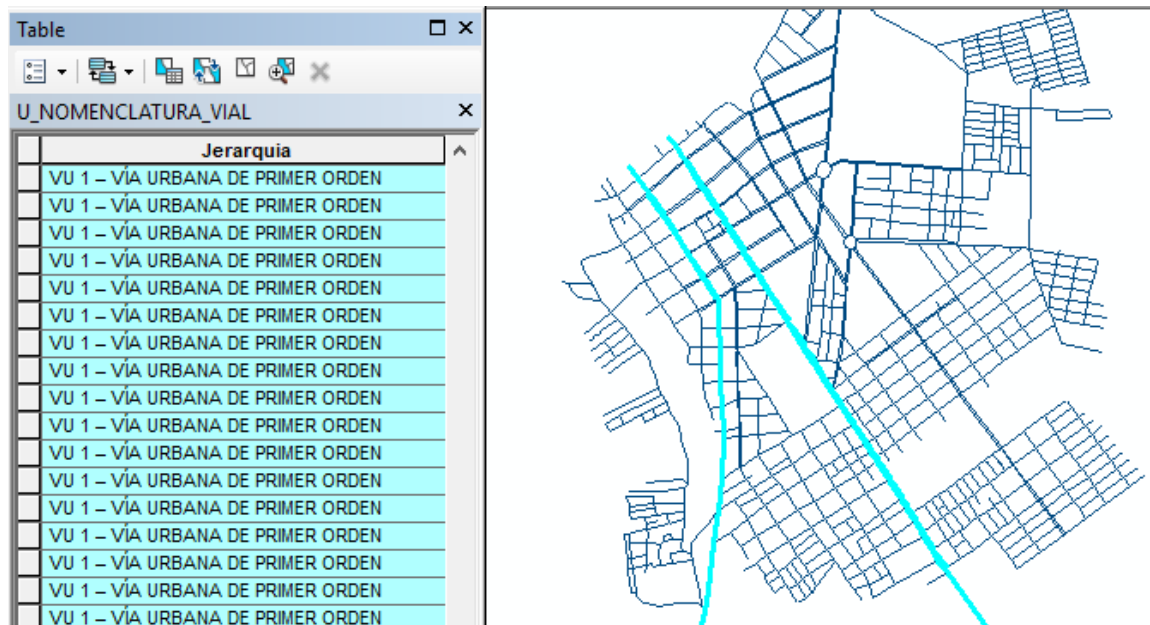
De acuerdo con la clasificación especificada en los numerales [2.2.2](#), [2.2.3](#), [2.2.4](#), [2.2.5](#) y [2.2.6](#) en conjunto con la figura [3-9](#) mapa 9. Sistema de movilidad del plan básico de ordenamiento territorial de la (Alcaldía de San José del Guaviare, 2002), se incluye el campo de texto de jerarquización vial según PBOT así, VU-1: vía urbana de primer orden, primaria o principal, VU-2: vía urbana de segundo orden o secundaria, VU-3: vía urbana local y VUP: vía urbana peatonal. Para otros casos y contextos, se debe revisar la jerarquización vial del POT o Plan de movilidad vigente o también se puede hacer su caracterización por velocidades de acuerdo con un estudio detallado de velocidades.



Figura 3-9: Mapa 9. Sistema de movilidad.



Fuente: Plan básico de ordenamiento territorial de (Alcaldía de San José del Guaviare, 2002).

**Figura 3-10:** Jerarquización de vías. Caso VU 1.

Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

Continuando con la consecución de atributos se debe indicar el tipo de capa de rodadura de la infraestructura vial del municipio, para ello se utilizará el *Street View* de *Google Maps* en conjunto con la verificación de visita de campo.

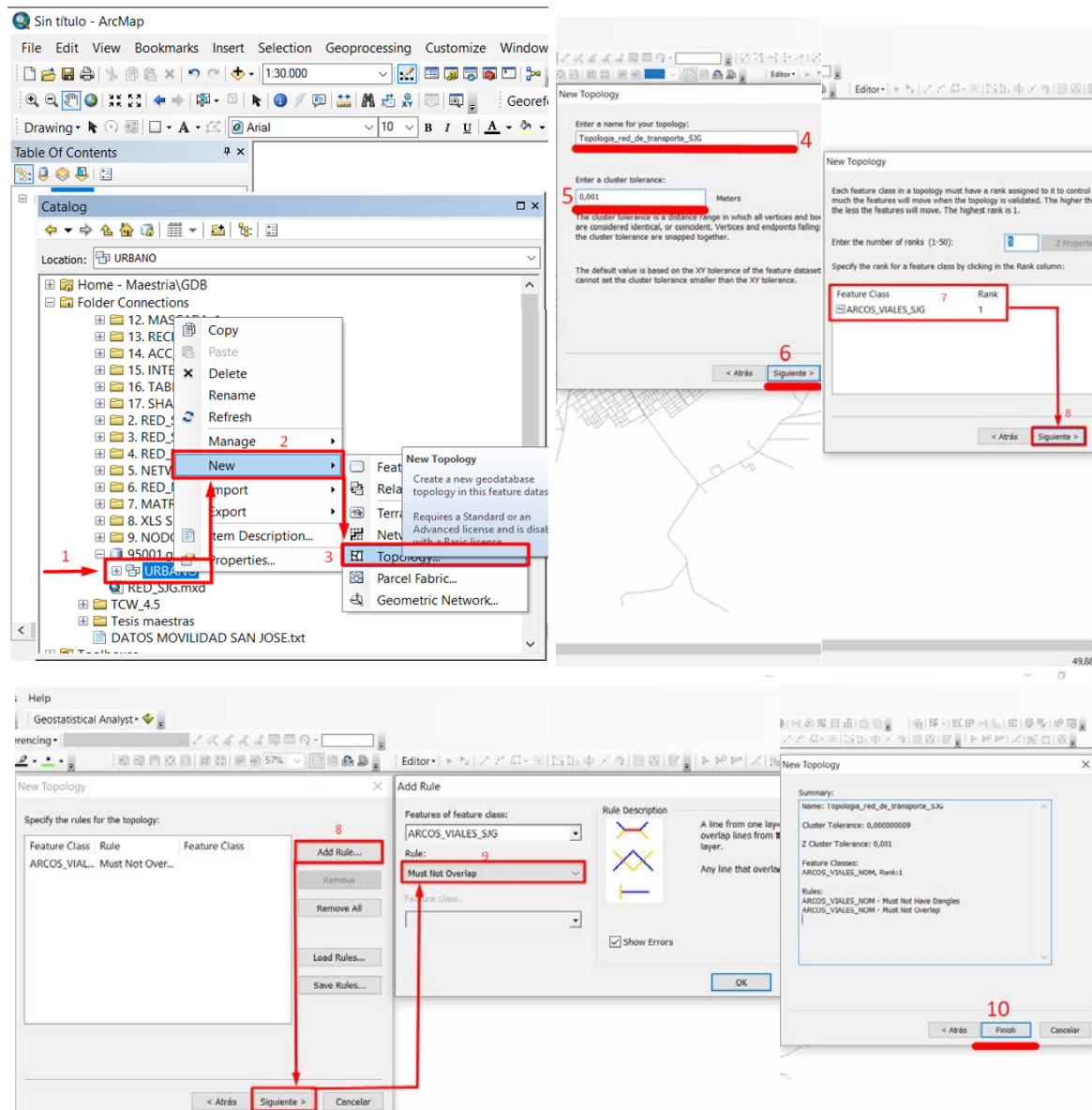
Para terminar la consecución de los atributos mínimos se debe establecer el campo de dirección vial de acuerdo con la lectura y terminología que entiende el software TransCAD, desde ArcMap se realiza el ingreso de la información teniendo presente que DIR: 1 significa que el flujo vial coincide con el orden de inicio a fin de la polilínea (*FT - From to*), mientras el DIR: -1 indica que el sentido vial es contrario al sentido de inicio a fin de la polilínea que se creó (*TF - To from*) y DIR: 0 muestra que el arco vial funciona en ambos sentidos. Para las vías de expansión urbana se encuentra que funcionan en ambos sentidos, puesto que estas vías todavía no se les había asignado dirección y sentido.

### 3.1.2 Creación y verificación de la topología de la red.

La topología es una herramienta que precisa cómo las entidades de nodos (puntos), líneas (arcos) y polígonos (arcos) comparten una geometría coincidente y verifica la correcta conectividad entre estos. Después de tener los datos necesarios se prosigue a crear una nueva topología para poder determinar si hay errores en la red antes de exportarla a TransCAD, es conveniente mencionar que este análisis se hace en un *dataset* tipo

Geodatabase. En primer lugar, se asigna la tolerancia al clúster que es un rango de distancia en el que todos los vértices y límites se consideran idénticos o coincidentes, los vértices y puntos finales que caen dentro de la tolerancia del clúster se juntan.

**Figura 3-11:** Proceso de creación de la topología de la red para validación.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

En segundo lugar se asignan las reglas específicas las cuales son *Must Not Overlap* que significa que los arcos no estén traslapados y *Must Not Have Dangles* para referenciar los arcos que no están correctamente conectados entre sí, salvo los nodos que se generarán en los extremos finales de una vía que no tiene más arcos de conexión. Hecho lo anterior

el software genera un nuevo Shapefile para la respectiva validación con la opción *Topology* de la barra de herramientas en donde se debe comprobar que no existan errores, para ello se utiliza la opción *Error inspector* el cual elabora una lista de errores detectados para su respectiva validación.

### **3.2 Análisis y obtención de las condiciones operativas de la red de transporte.**

La medición de los arcos ( $l_i$ ) debe tener presente dos atributos básicos: la longitud y las velocidades de operación de los arcos  $v_i$ . El análisis espacial de la longitud se realiza por medio de herramientas computacionales de sistemas de información geográfica y para el cálculo de operación de velocidad se han utilizado distintos métodos como: la jerarquización de la red vial (Zuluaga & Escobar, 2017), mediante la medición de la velocidad en campo, dispositivos de sistemas de posicionamiento global (GPS) o la obtención de datos a través de páginas web como *Google Maps* ([maps.google.com](https://maps.google.com)), *Map Quest* ([www.mapquest.com](http://www.mapquest.com)) y *Rand McNally* ([www.randmcnally.com](http://www.randmcnally.com)) (Wang & Xu, 2011), las cuales permanentemente actualizan estos valores según las condiciones reportadas por los usuarios (Lahoorpoor & Levinson, 2020).

En la presente metodología resulta primordial el uso de la aplicación web *Google Maps*, desarrollada a inicios del año 2005 por la empresa *Google Inc*, hoy filial de *Alphabet Inc*. ya que es la que cuenta con la mayor cantidad de usuarios aportando información en tiempo real sobre las condiciones del tráfico gracias a los GPS instalados en los dispositivos móviles del sistema operativo Android. Este servidor de mapas en la web ofrece múltiples servicios geográficos gratuitos como visualización de mapas satelitales en todas las escalas terrestres, búsqueda y geolocalización de lugares de interés y nodos de actividad primaria, percepción de fotografías panorámicas a pie de calle a través de su herramienta *Street View* y la función más notable, el cálculo y planificación de rutas entre distintas ubicaciones de orígenes y destinos según algoritmo de (Dijkstra, 1959).

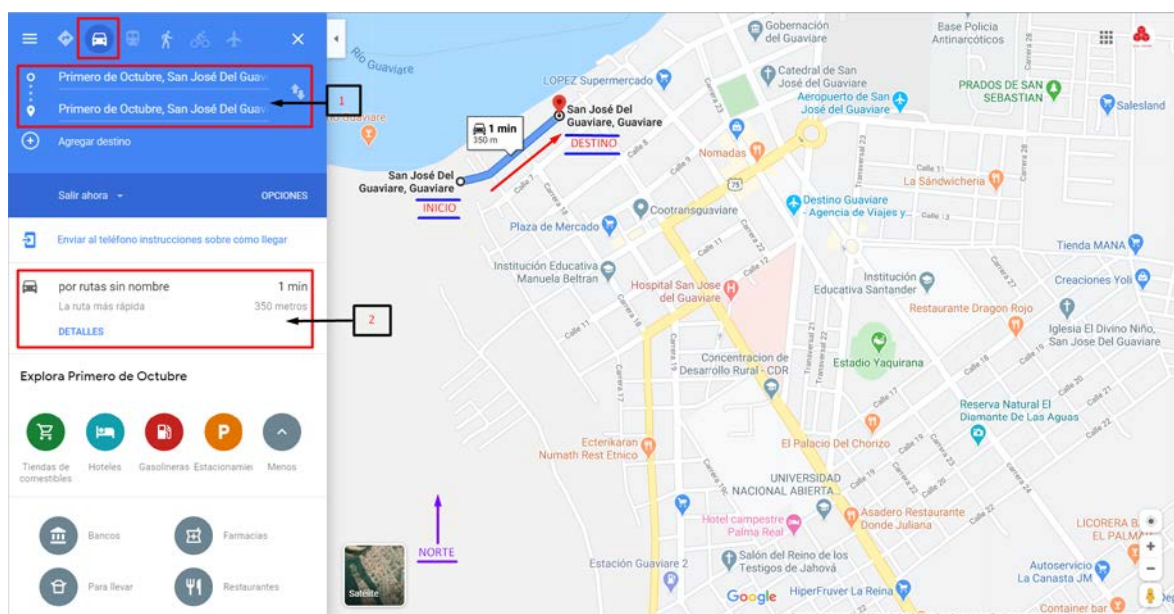
### 3.2.1 Cálculo de velocidades de operación en *Google Maps* y tiempo de viaje para cada arco.

La obtención de las velocidades operacionales se hace con la herramienta “Como llegar” y la capa de “Tráfico” de *Google Maps*, con esto se puede calcular rutas cortas a través la elección origen - destino y como medio de transporte se usa Automóvil. Los datos de tráfico se pueden obtener en vivo (tiempo real) o usual (registro histórico), en este caso la toma de datos se debe hacer con la opción “usual”, todos los días de la semana, repartidos en horarios pico típicos, 06:00 am a 08:00 am, 11:00 am a 02:00 pm y de 05:00 pm a 07:00 pm. En el primer paso se debe determinar el sentido vial y la ruta de análisis, la cual puede comprender varios arcos de la red, siendo preciso mencionar que no existe una ecuación que determine una regla para abarcar n arcos de manera general, su composición de trayecto depende de las condiciones propias de cada sector y su operatividad. En el segundo paso se procede a ejecutar la ruta con la posibilidad de ajuste teniendo presente que *Google Maps* calcula las unidades de distancia cada 10 metros y de tiempo cada minuto, razón por la cual se debe analizar en que posición final hay un cambio de tiempo en minuto, para toma de decisión de datos.

De cada ruta se toma la velocidad media espacial  $\bar{V}_e$  en  $\frac{\text{Kilometro}}{\text{hora}}$  mediante la ecuación 2.

$$\bar{V}_e = \frac{d(m)}{t(\text{min})} * 0.06 \quad (\text{Ecuación 2})$$

**Figura 3-12:** Calculo de rutas por *Google Maps*.



Fuente: *Google Maps*.

**Figura 3-13:** Cálculo de velocidad media espacial  $\bar{v}_e$  en  $\frac{\text{Kilometro}}{\text{hora}}$ .

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

La razón por la cual se decide usar el factor numérico de 0.06 para convertir unidades de  $\frac{m}{min}$  a  $\frac{km}{h}$  es porque son las más conocidas en la representación de la velocidad de un vehículo en el medio cotidiano, además nos permiten ir comprendiendo de manera práctica el comportamiento de la red y verificar el desarrollo de la obtención de información cuando haya lugar a casos atípicos. Al completar los cálculos en *Google Maps* la serie de datos de velocidad media espacial  $\bar{v}_e$  se tabula en la tabla de atributos del Shapefile polilínea arcos viales dentro de cada fila correspondiente.

Finalmente, a partir de la ecuación 3, se obtiene el tiempo de viaje correspondiente a cada arco ( $t_i$ ), relacionando la velocidad y longitud, teniendo en cuenta las unidades, mediante la herramienta de *Field Calculador* de *ArcMap* donde se introduce la fórmula en la cual se pasan las unidades de metro a kilómetro con el fin de validar cálculos con la velocidad en  $\frac{km}{h}$  y conseguir el tiempo en horas, luego se multiplica por 60 para obtener el resultado en minutos.

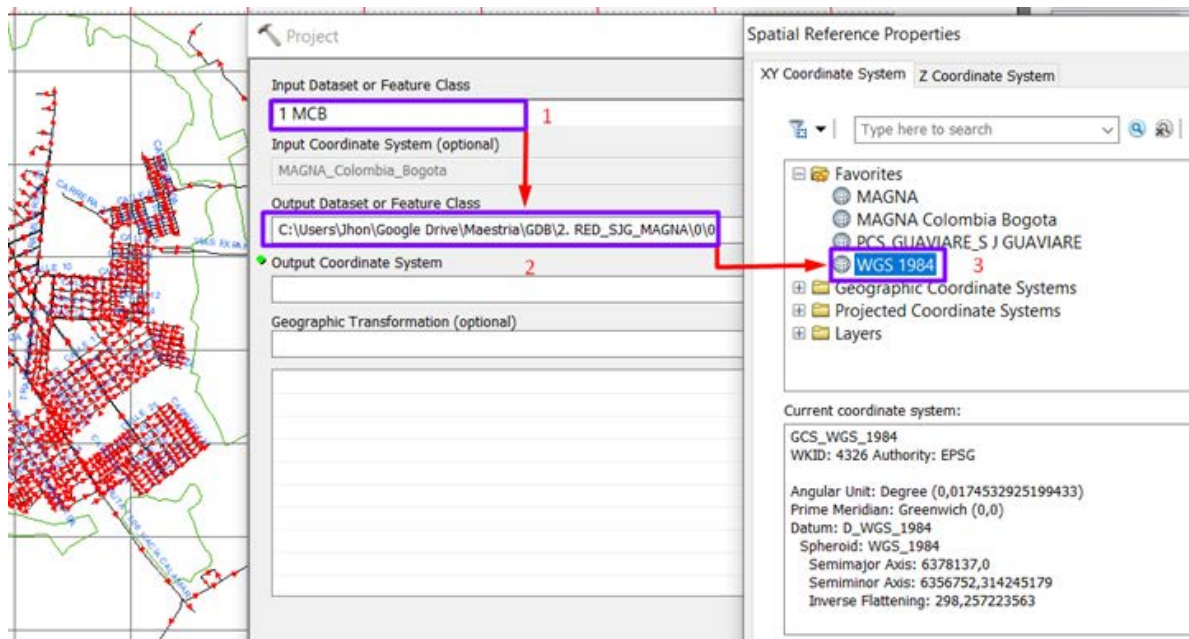
$$t_i = \frac{l_i}{v_i} \quad (\text{Ecuación 3})$$

### 3.2.2 Calibración de la red con *Shortest Path* ruta mínima entre nodos.

#### 3.2.2.1 Importación de la red en TransCAD.

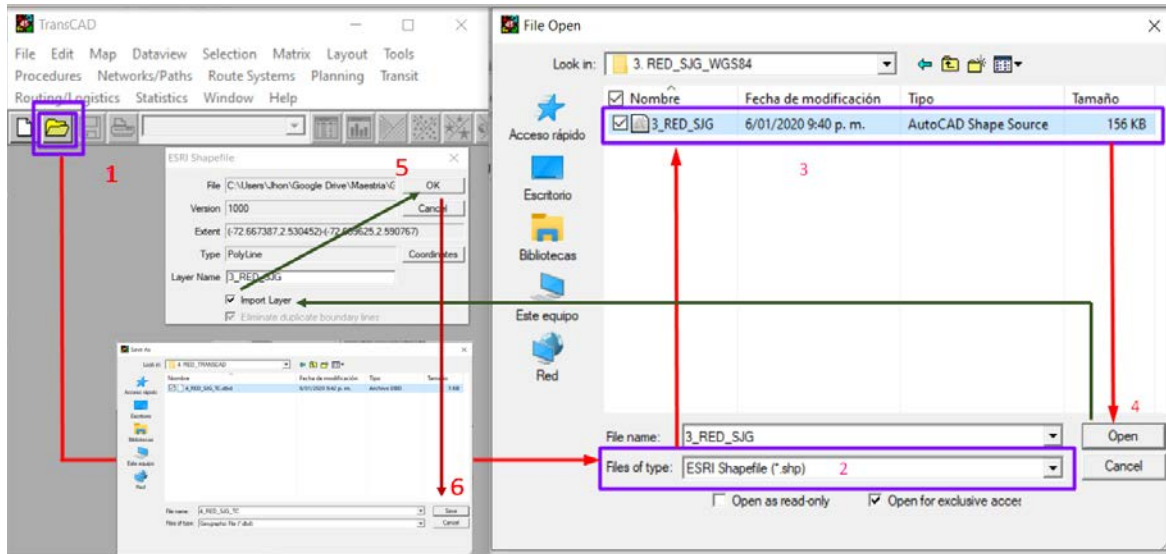
Se debe tener el Shapefile polilínea de arcos viales en el sistema de coordenadas geográficas WGS\_1984 porque es el adecuado para realizar las operaciones en el software TransCAD versión 4.5, por lo cual es necesario definir el modelo creado en ArcMap con sistema de coordenadas proyectadas MAGNA Colombia Bogotá a MAGNA y desde este proyectar hacia WGS\_1984.

**Figura 3-14:** Proyección de sistema de coordenadas MCB hasta WGS84



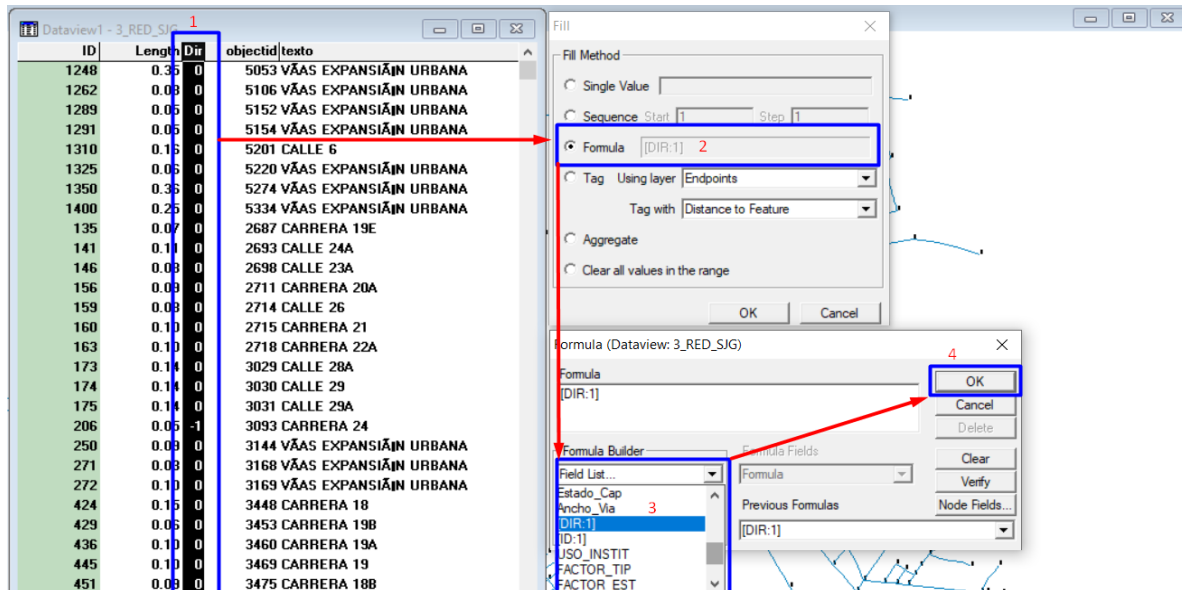
Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap

Luego se procede a la importación de la red obtenida del archivo de arcos viales en TransCAD según el siguiente proceso secuencial. 1) *Open file*, 2) Se selecciona el tipo de archivo ESRI *Shapefile* (\*.shp), 3) Se selecciona el archivo escogido, 4) Se abre el archivo, 5) En el cuadro de dialogo flotante se aplica la opción *Import Layer* y *OK*, 6) Se guarda el archivo en formato (.dbf).

**Figura 3-15:** Importación de la red en TransCAD.

Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Ahora debemos rellenar en la tabla de datos de los arcos el campo DIR de TransCAD que aparece en todos los valores con cero por el campo DIR:1 obtenido desde ArcMap para determinar la dirección vial real y tener una red topológicamente construida.

**Figura 3-16:** Relleno del campo de dirección vial DIR1.

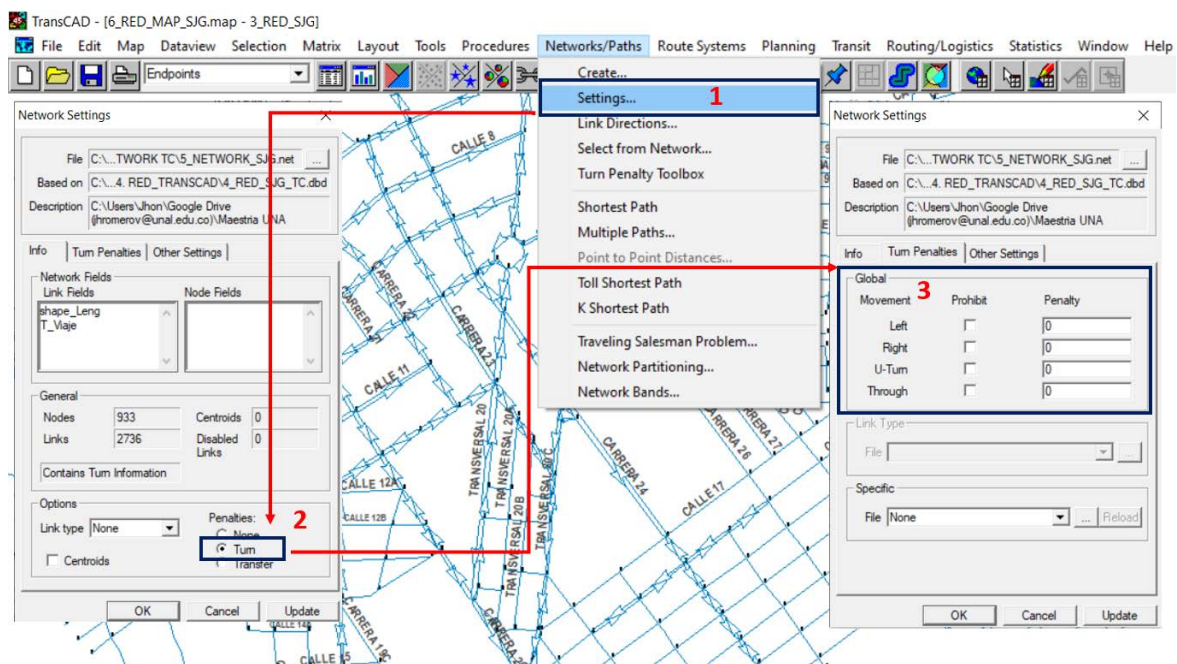
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.



### 3.2.2.2 Análisis de penalidades por giro

Las penalidades por giros a la izquierda, derecha y en ú, constituyen adiciones en tiempo a la red cuando el software está buscando la ruta mínima, sin embargo la obtención de su valor real en cada intersección vial resulta demasiado difícil si se tiene una red de cientos o miles de arcos y nodos. (Cardona, 2018). Su análisis se hace teniendo en cuenta la comparación de los resultados de las rutas en Google Maps y TransCAD para determinar el valor de las penalidades que permitan lograr el equilibrio de las redes en términos de tiempo.

**Figura 3-17:** Penalidades por giro.



Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

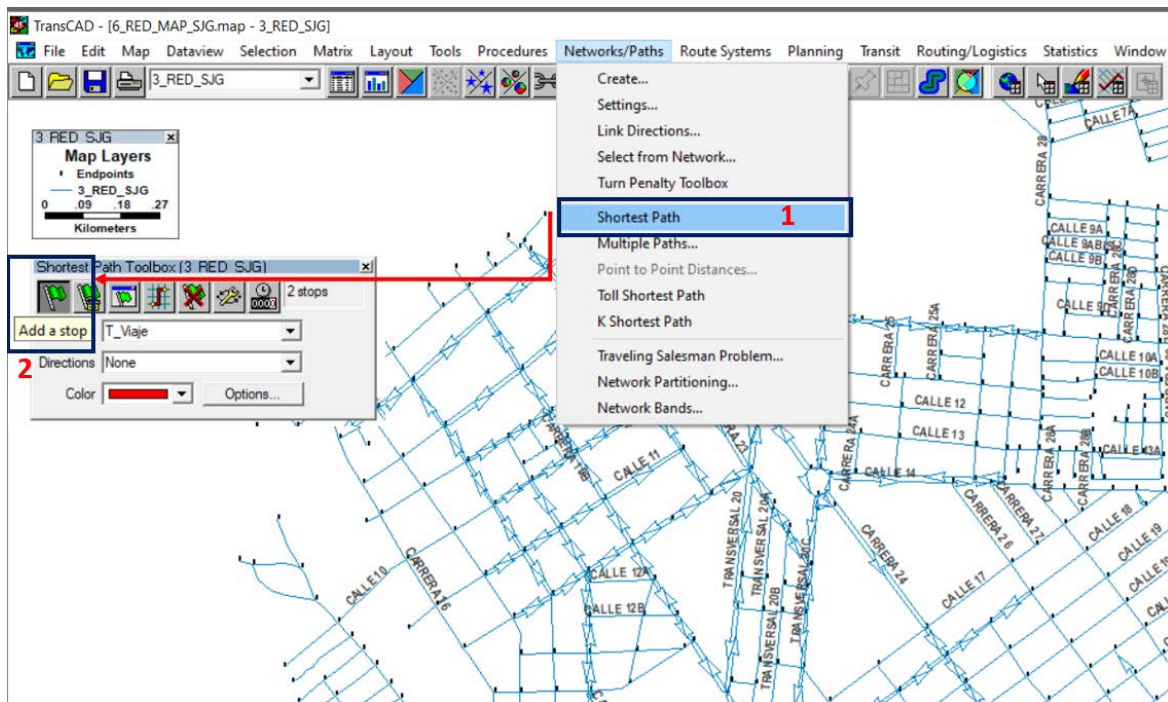
### 3.2.2.3 Comparación de tiempos mínimos de viaje entre TransCAD y Google Maps

Luego, se utiliza el algoritmo de caminos mínimos. Este fue expuesto en 1959 para explicar la red vial a partir de la unión de nodos y arcos, y la longitud entre estos. El algoritmo tiene presente dos problemas: el primero es que debe existir al menos una ruta entre los diferentes nodos que conforman la red vial; el segundo, por su parte, establece el camino mínimo que existe entre dos nodos, por ejemplo entre el nodo A y el nodo B. Ahora, si por alguna razón existen nodos intermedios; es decir un nodo C que queda más cerca al nodo A, lo que se debe hacer es calcular es todas las rutas mínimas posibles entre todos los nodos. En síntesis, el algoritmo de caminos mínimos de (Dijkstra, 1959) encuentra la ruta

más corta entre dos puntos minimizando la variable tiempo de viaje. Este algoritmo ha sido desarrollado a través de los años, logrando una optimización en su rapidez computacional y la inclusión de las penalidades y restricciones por giro dado que las redes viales generalmente poseen direccionalidades que restringen las rutas, así como los giros a la izquierda o derecha toman más tiempo según el tipo de vehículo e intersecciones viales (Caldwell, 1961); (Cardona, 2018); (Cardona et al., 2018b).

Ahora se procede a calibrar el modelo mediante la comparación de tiempos mínimos de viaje entre *Google Maps* ([Ver sección 3.2.1](#)) y TransCAD, la cual debe arrojar valores similares y cercanos a la igualdad para tener buena confiabilidad.

**Figura 3-18:** Creación de *Shortest path*.



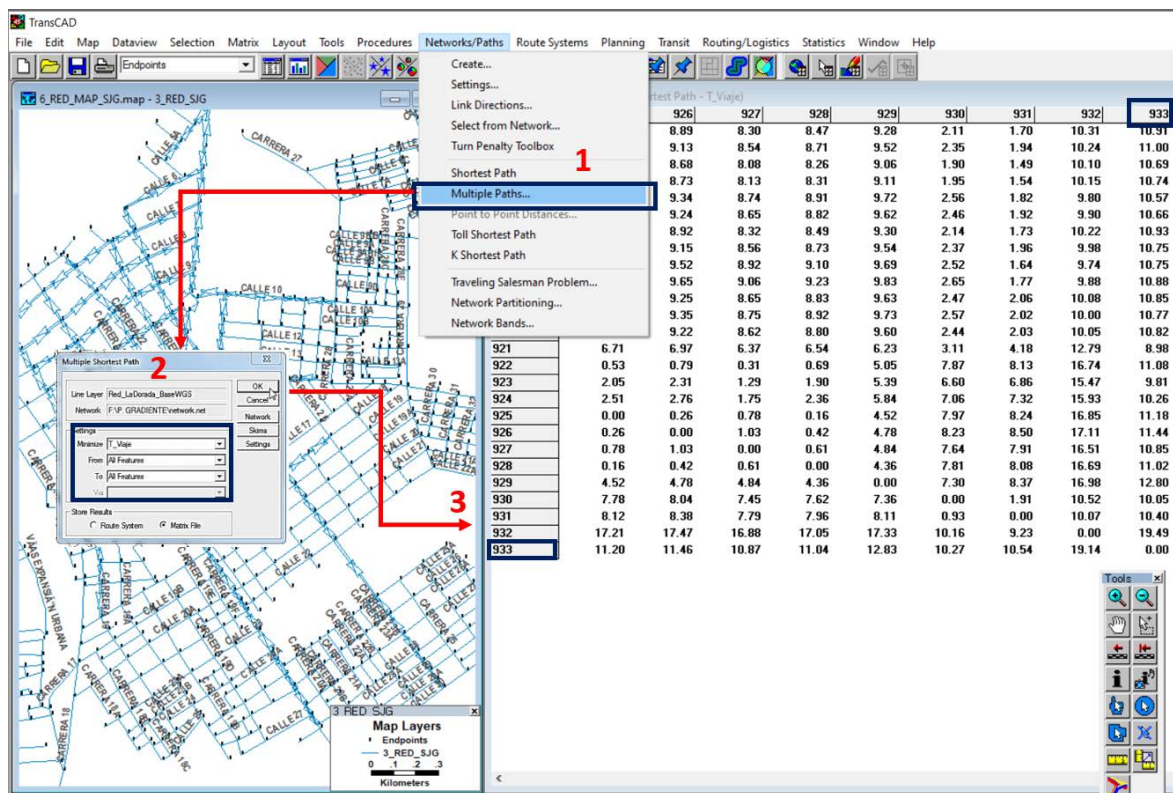
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

### 3.3 Accesibilidad media global, escenario actual.

#### 3.3.1 Matriz de tiempos mínimos de viaje (*Múltiple paths*, algoritmo Dijkstra).

Posterior a la correcta calibración con *Shortest Path* para distintas rutas de la red creadas a partir de dos nodos, ya se cuenta con la confiabilidad necesaria para generar los cálculos de ruta mínima entre todos los nodos en función de minimizar el tiempo (*Múltiple paths*) y desarrollar la matriz de tiempos de viaje ( $M_{tv}$ ) que se calcula a través del algoritmo Dijkstra, y así tener una matriz (tamaño  $n \times n$ ), siendo  $n$  igual al número total de nodos de la red.

Figura 3-19: Matriz de tiempos de viaje.



Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

#### 3.3.2 Vector de tiempo medio de viaje.

Llegados al punto anterior es necesario determinar el vector de los tiempos promedio de viajes ( $\bar{T}_v$ ) para estudiar la accesibilidad media global. El análisis se hace como se muestra en la ecuación 4 (Perilla, Escobar, & Cardona, 2018), donde se toman los datos a partir de los nodos de origen del viaje  $\bar{T}v_i$ , y se divide la sumatoria de cada uno entre el total de nodos menos uno (1).

$$\overline{Tv}_i = \frac{\sum_{j=1}^n tv_{ij}}{n-1} \quad (\text{Ecuación 4})$$

### 3.3.3 Análisis geoestadístico, modelo de Kriging ordinario y predictivo.

El modelo geoestadístico Kriging Ordinario (Perilla et al., 2018), se utiliza con el fin de conseguir las curvas isócronas de accesibilidad media global, y uno de los puntos principales de su evaluación es la relación entre los datos y su uso para conjeturar, construir y modelar; tal como se refleja en la ecuación 5, teniendo en cuenta que el semi-variograma ( $\tilde{\gamma}(h)$ ) es la herramienta central:

$$\overline{\tilde{\gamma}(h)} = \frac{\sum(Z_{(x+h)} - Z_{(x)})^2}{2n} \quad (\text{Ecuación 5})$$

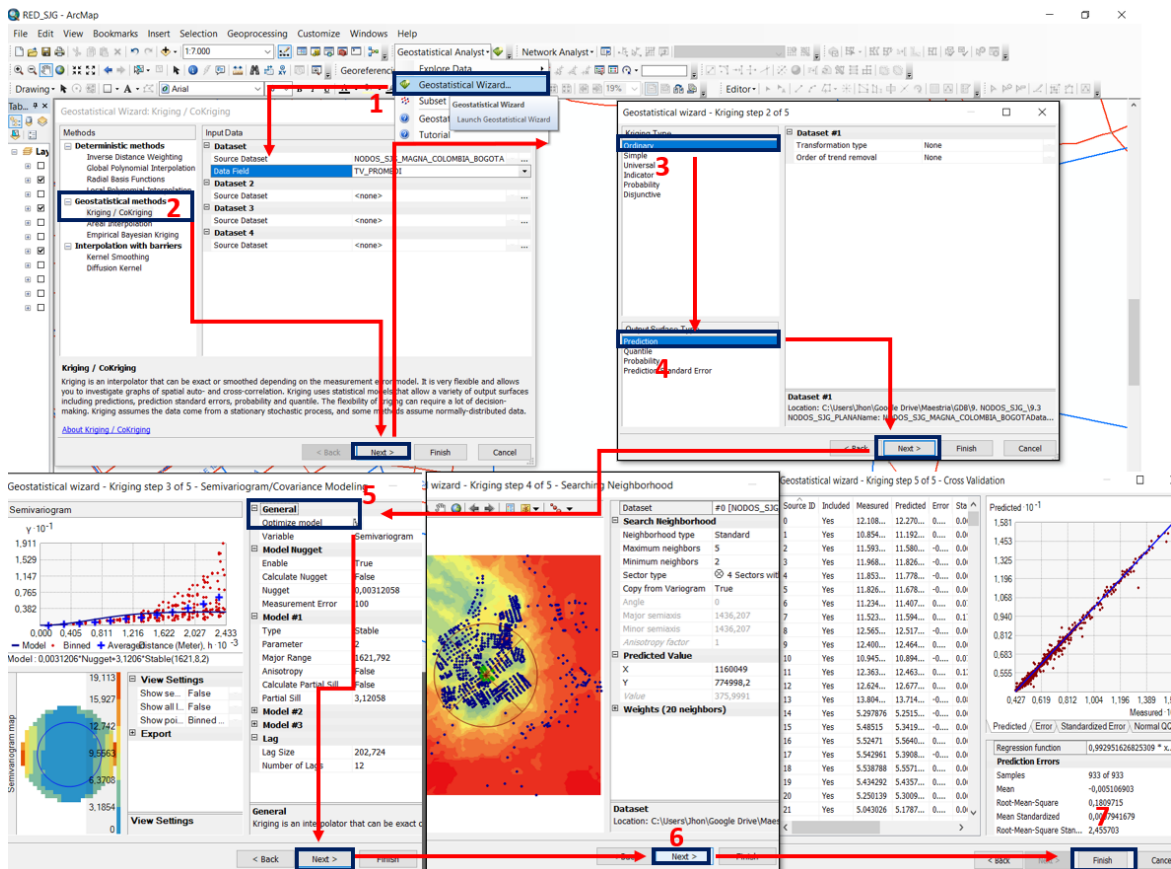
En otro orden, la interpolación espacial utiliza el método Kriging ordinario que disminuye el error cuadrático medio de la predicción (ecuación 5). Este expone que el valor de una variable se puede predecir a través de las  $n$  variables aleatorias, como se muestra en la ecuación 6, en donde  $\lambda_i$  simboliza las ponderaciones de los valores originales, “(...) dichos pesos se calculan en función de la distancia entre los puntos muestreados y el punto donde se va a hacer la correspondiente predicción. La suma de los pesos debe ser igual a uno (1) para que la esperanza del predictor sea igual a la esperanza de la variable. Esto último se conoce como el requisito de insesgamiento. (Giraldo, 2011)”.

$$Z_{(x_0)} = \lambda_1 Z_{(x_1)} + \lambda_2 Z_{(x_2)} + \lambda_3 Z_{(x_3)} + \lambda_4 Z_{(x_4)} + \dots + \lambda_n Z_{(x_n)} = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{(x_i)} \quad (\text{Ecuación 6})$$

El punto de partida para todos los análisis del escenario existente y los propuestos consiste en la importación del grupo de puntos del vector medio de tiempo de viaje en el modelo de ArcMap, donde su representación es el Shapefile de nodos el cual permite realizar los respectivos cálculos geoestadísticos.

Ahora bien, con la información anterior se utiliza en ArcMap la extensión *Geostatistical Analysis*, opción *Geostatistical Wizard* (primer paso), en el segundo paso se escoge el método geoestadístico Kriging / Cokriging, en el tercer paso se selecciona el tipo de Kriging ordinario, en el cuarto paso se elige el modelo de salida para predicción, en el quinto paso se optimiza mínimo tres (3) veces el modelo para corregir errores y ponerlo a punto, sexto y séptimo paso son para finalizar.

Figura 3-20: Proceso de Kriging ordinario.



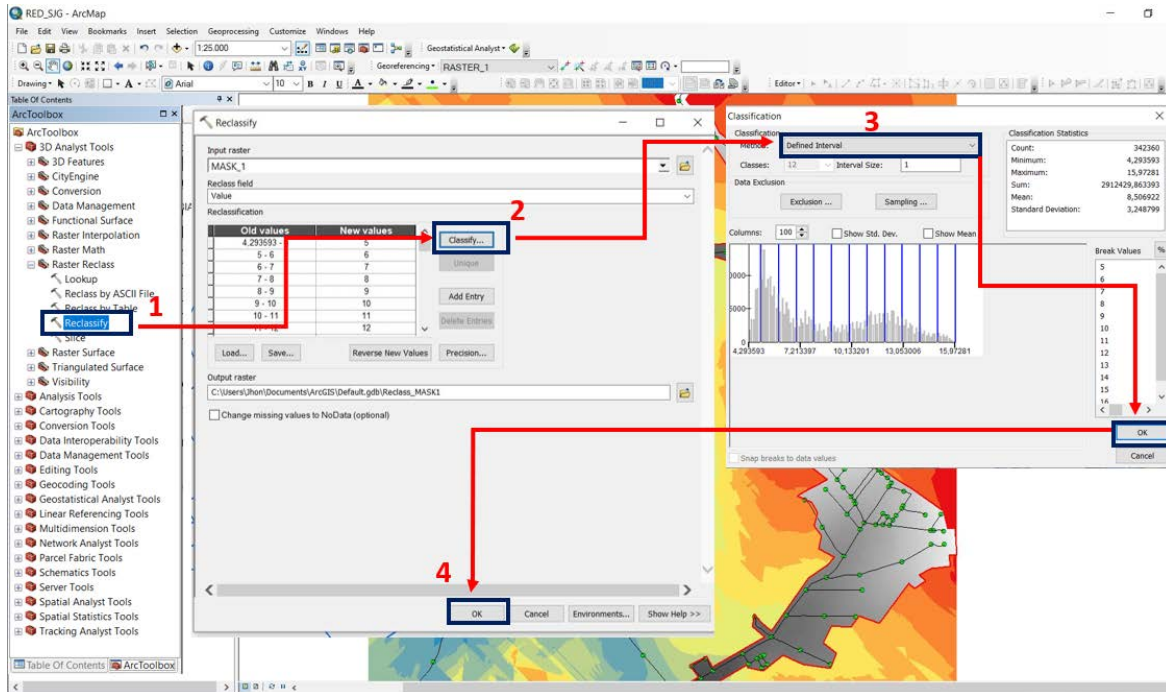
Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

### 3.3.4 Cálculo de curvas isócronas.

Llegados a este punto se debe exportar el Kriging a ráster para poder manipular la información espacial, esto requiere utilizar el Shapefile de barrios ([Ver sección 3.1.1.3](#)), como límite geográfico de procesamiento de información, luego se procede a la extracción de datos tomando nuevamente de base el polígono de barrios, para ello se utilizara la herramienta *Spatial analyst tools* opción *Extraction By Mask*.

#### 3.3.4.1 Reclasificación de tiempos promedio de viaje

Con la nueva mascara creada a partir del polígono de barrios se debe reclasificar los rangos de tiempos por intervalos definidos para mayor entendimiento y practicidad al momento de la interpretación de la información, la ruta de trabajo se encuentra en *3D Analyst tools > Ráster reclass > Reclassify* y su procedimiento se detalla a continuación.

**Figura 3-21:** Reclasificación de tiempos promedio de viaje

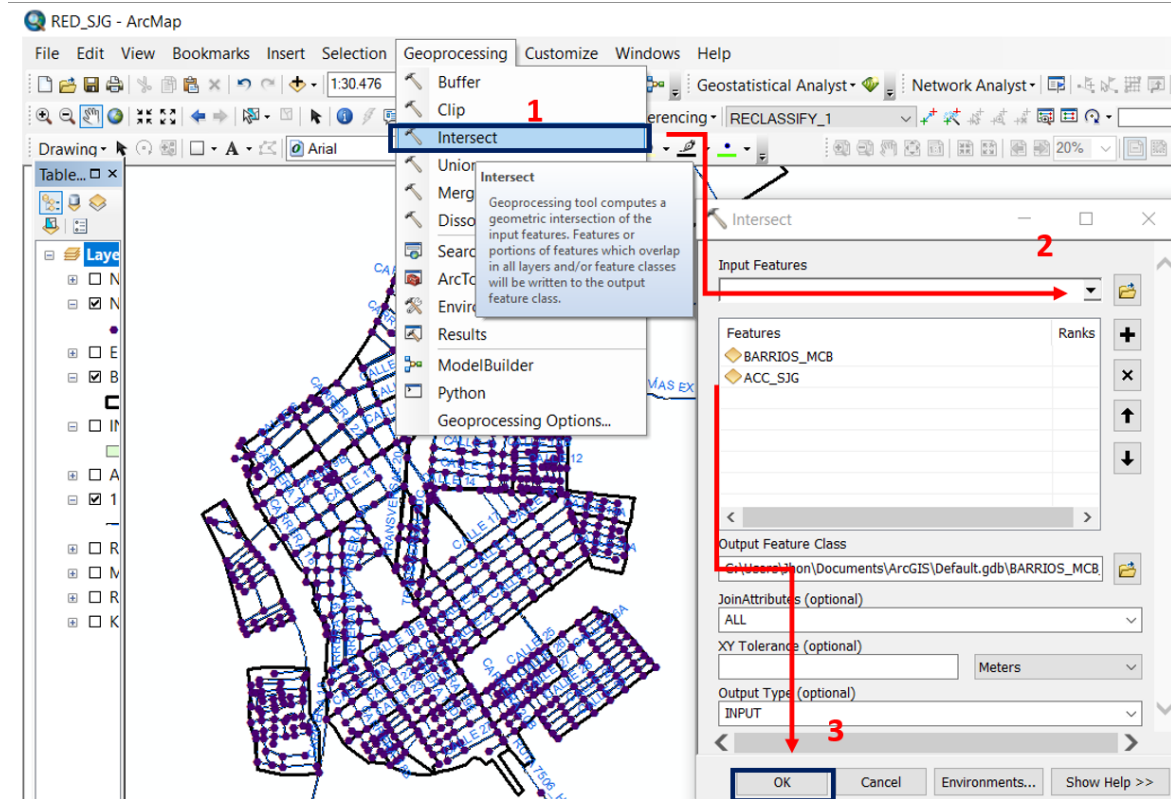
Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

Después de reclasificar el ráster se convierte a polígono y se actualiza su simbología de acuerdo con los intervalos definidos anteriormente, hasta este punto se ha generado el cálculo de accesibilidad media global mediante la creación de curvas isócronas para el escenario actual con las condiciones existentes.

## 3.4 Análisis de cobertura actual para los nodos de actividad primaria.

### 3.4.1 Intersección con polígono de barrios.

Continuando con el análisis geoestadístico, se debe cruzar la información del polígono de las curvas isócronas de accesibilidad y el polígono de barrios para generar la cobertura de las curvas con la población de los diferentes barrios. El resultado de esta intersección será un nuevo Shapefile tipo, el cual contendrá la información fusionada de las dos tablas de atributos base, para posterior análisis con la herramienta de tablas dinámicas de Excel. Para empezar, se debe realizar usando el paquete de *Geoprocessing* de ArcMap, herramienta *intersect*, tal y como se describe a continuación.

**Figura 3-22:** *Intersect* de accesibilidad con polígono de barrios.

Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

Ahora la tabla de atributos de la nueva entidad geográfica obtenida del *Intersect*, permite realizar en principio el análisis de cobertura de población por cada curva isócrona y por barrio, además de la creación de la ojiva porcentual acumulada, ahora bien, estos análisis se pueden ampliar a otras variables que cuenten con una delimitación geográfica definida.

### 3.4.2 Creación y análisis de equipamientos funcionales como nodos de actividad primaria.

Llegados a este punto es necesario identificar todos los equipamientos funcionales existentes en el área urbana del municipio que se enmarquen en las siguientes categorías: institucional, educativo, transporte, religioso, salud, seguridad, recreativo-deportivo y mercado (Escobar et al., 2017). Luego se deben georreferenciar mediante la creación de un Shapefile de puntos según proceso descrito en las figuras [3-2](#), [3-3](#) y [3-4](#).

**Tabla 3-1:** Clasificación de nodos de actividad primaria.

<b>Categoría</b>	<b>Tipo.</b>
1. Institucional	1.1 Gubernamental
	1.2 Justicia
	1.3 Cultural
2. Educativo	2.1 Centros de desarrollo infantil CDI
	2.2 Escuelas
	2.3 Colegios
	2.4 Universidad o Instituto
3. Transporte	3.1 Aeropuerto
	3.2 Empresas de transporte terrestre
	3.3 Empresas de transporte fluvial
4. Religioso	4.1 Católico
	4.2 Iglesias cristianas
5. Salud	5.1 Pública
	5.2 IPS y EPS
	5.3 Consultorios privados
6. Seguridad	6.1 Policía
	6.2 Ejército
7. Recreativo y deportivo	7.1 Parques
	7.2 Estadios
8. Mercado	8.1 Plaza
	8.2 Supermercado

Fuente: *Elaboración propia.*

## 3.5 Gradiente de ahorro con escenarios futuros.

### 3.5.1 Accesibilidad media global para escenarios futuros.

En este análisis se deben desarrollar las propuestas de intervención en la infraestructura vial que permita mejorar las condiciones de accesibilidad, su principal objetivo consiste en determinar mediante el resultado del escenario actual cuales son las obras de mayor impacto que requiere la ciudad, para este es necesario realizar el cálculo de accesibilidad media global para los escenarios futuros de acuerdo con el procedimiento descrito en el capítulo [3.3](#)

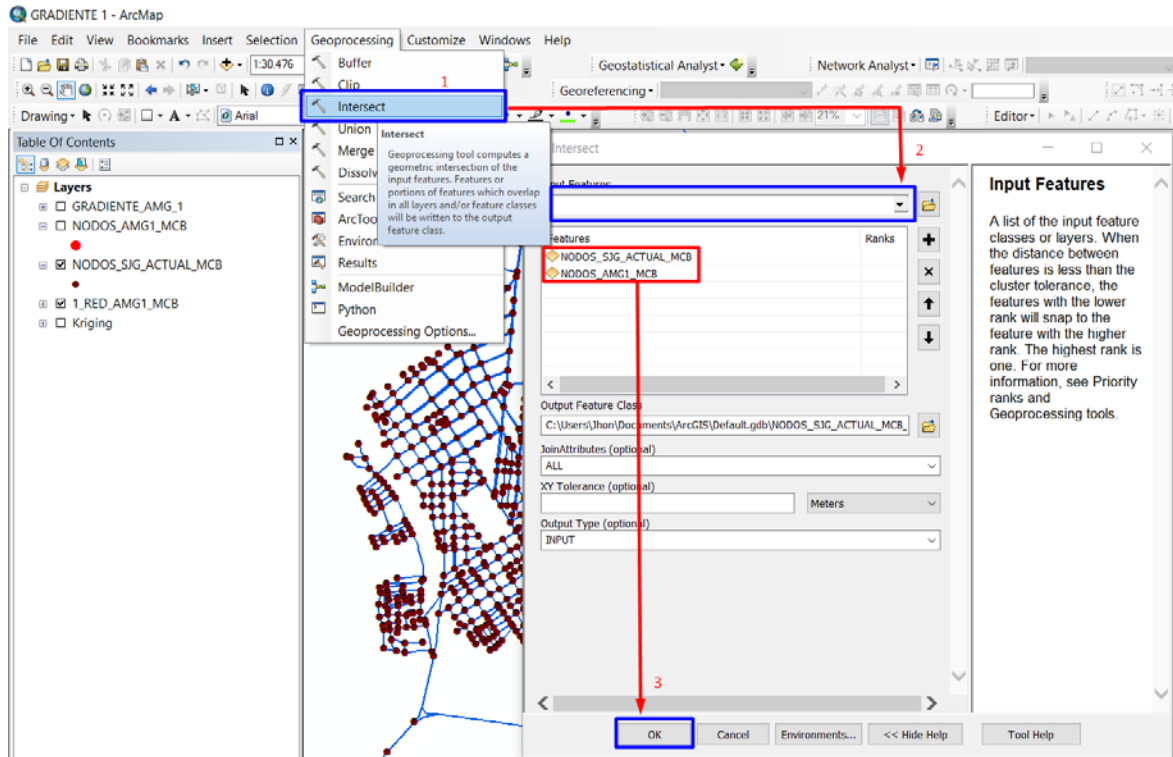
### 3.5.2 Cálculo de gradiente de ahorro por escenario futuro.

Este análisis se realiza con la información georreferenciada en sistema de coordenadas proyectadas de los Shapefile de nodos de accesibilidad media global actual y futura obtenidos según el proceso descrito en la sección [3.3.2](#). En primer lugar calculamos



mediante la herramienta de geoprocresamiento el *intersect* entre nodos como se indica a continuación,

**Figura 3-23:** *Intersect* de gradiente entre vectores de tiempo medio de viaje, escenarios actual y futuro.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

Más tarde se examina el gradiente de ahorro que tiene como finalidad obtener el cálculo entre los vectores de tiempo promedio de viaje, como se observa en la ecuación 7, y así determinar la diferencia entre las zonas estudiadas (Cardona, Escobar, & Moncada, 2018c). En la ecuación expuesta  $\overline{Tvb}$  simboliza el escenario base o actual y  $\overline{Tva}$  representa el escenario comparativo:

$$G.A (\%) = \frac{\overline{Tvb} - \overline{Tva}}{\overline{Tvb}} * 100 \quad (\text{Ecuación 7}).$$

## **3.6 Análisis de accesibilidad media global en función de modos de transporte y nodos de actividad de actividad primaria.**

### **3.6.1 Análisis de escenario con red peatonal.**

Con la elaboración de los arcos viales obtenidos para el análisis de accesibilidad media global del escenario actual se construye la red peatonal, con una velocidad de caminata igual a 3.4 mi/h (5.47 km/h) (Transportation Research Board, 2010).

### **3.6.2 Análisis de escenario con red de ciclorruta.**

De igual forma como ocurre con la red peatonal se toma el análisis de accesibilidad media global del escenario actual y se construye la red de ciclorruta, con una velocidad igual a 12.8 mi/h (20.6 km/h) (Transportation Research Board, 2010).

### **3.6.3 Análisis de escenario con red de transporte público colectivo urbano.**

Para este análisis se debe mencionar que para el caso de estudio no existe red de transporte público, razón por la cual se debe crear una conectividad vial que garantice el paso por las zonas más pobladas y por los nodos de actividad primaria más accesibles.

### **3.6.4 Análisis de cobertura para nodos de actividad primaria en función de modos de transporte.**

Posteriormente se realiza el análisis de cruce de información entre los resultados de accesibilidad media global con curvas isócronas cada dos (2) minutos por cada modo de transporte y la capa de información de nodos de actividad primaria, lo anterior con el objetivo de conocer la cobertura porcentual efectiva de las propuestas de red peatonal, red de ciclorruta y de transporte público colectivo urbano.

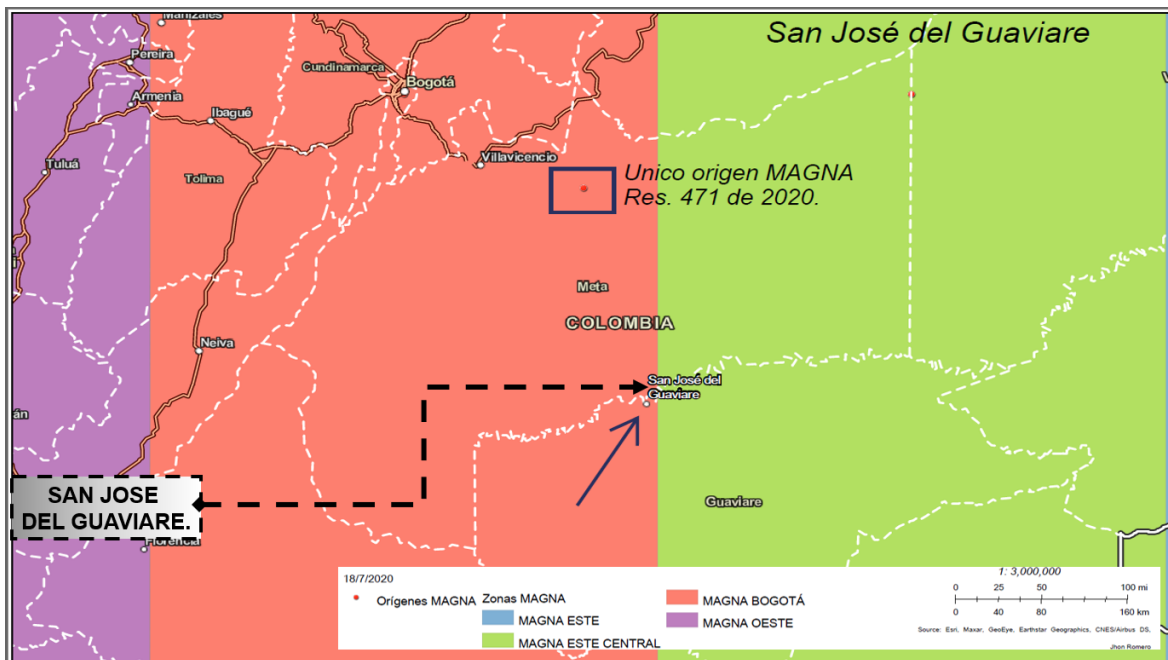
## 4 Desarrollo de cálculos y resultados.

En este capítulo se presenta el desarrollo de los cálculos y resultados de las seis (6) etapas que componen la metodología de trabajo: 1) Creación y validación de la red transporte, 2) Análisis y obtención de las condiciones operativas de la red de transporte, 3) Accesibilidad media global escenario actual, 4) Análisis de cobertura de los principales nodos de actividad primaria, 5) Gradiente de ahorro para agregación de cuatro (4) propuestas de intervención a la infraestructura vial existente y 6) Análisis de accesibilidad media global en modos de transporte para el peatón, el usuario de bicicleta y una propuesta de red de transporte público en función de los nodos de actividad de actividad primaria.

### 4.1 Creación y validación de la red de transporte.

Mediante el software ArcMap se georreferenció la zona urbana de San José del Guaviare agregando la imagen de zonas MAGNA en formato jpg, donde se encuentra que el sistema de coordenadas proyectadas debe ser Magna Colombia Bogotá con proyección transversal de Mercator, norte falso igual a 1.000.000, este falso igual a 1.000.000, meridiano central igual a -74,07750792, factor de escala de uno (1), origen de latitud 4,59620042 y unidad de medida el metro.

**Figura 4-1:** Zona de origen de San José del Guaviare.



Fuente: ESRI, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS. Adaptación propia.

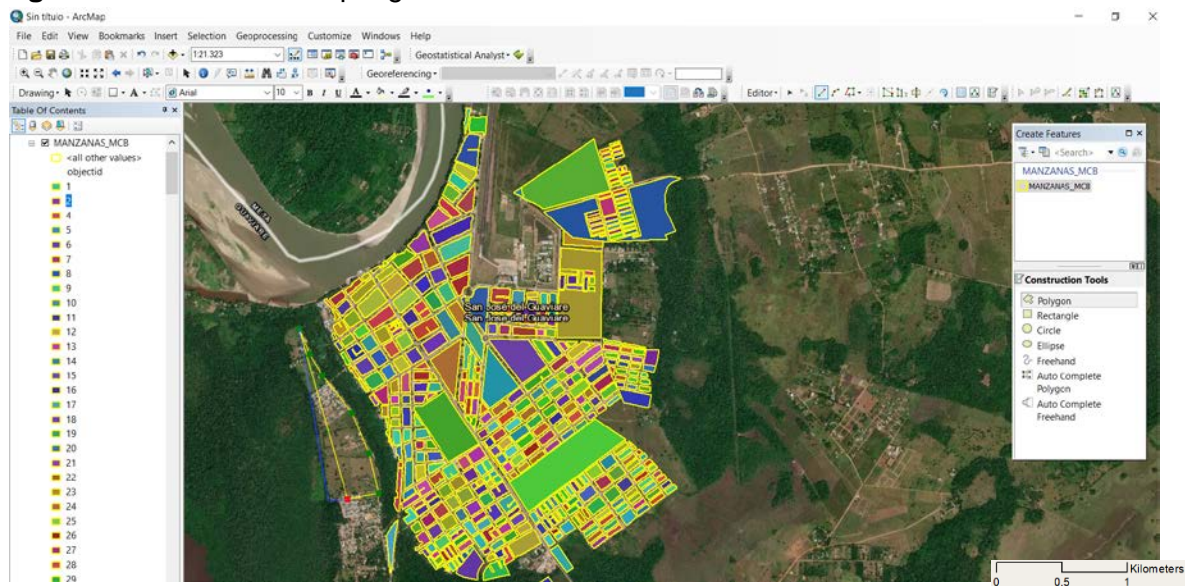
### 4.1.1 Capas de información geográfica.

Se crearon los Shapefile de manzanas urbanas, entorno ambiental, barrios y arcos viales de acuerdo con lo indicado en las secciones [3.1.1.1](#), [3.1.1.2](#), [3.1.1.3](#) y [3.1.1.4](#), y se obtuvo los siguientes resultados temáticos.

Manzanas urbanas.

La geometría se obtuvo a través de las capas de mapa base que vienen incorporadas en el software ArcMap y del mapa urbano de San José elaborado por la (Gobernación del Guaviare, 2017).

**Figura 4-2:** Resultado de polígonos de manzanas urbanas.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

**Figura 4-3:** Tabla de atributos de polígonos de manzanas urbanas.

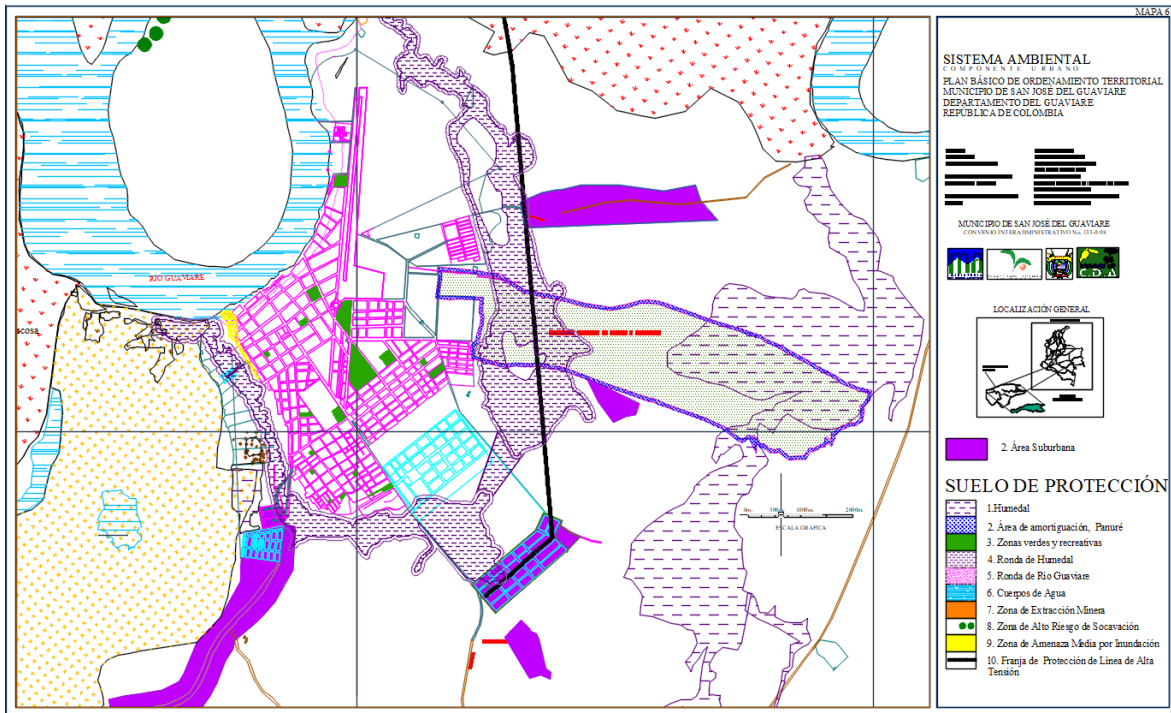
FID	Shape *	objectid	codigo	globalid	shape Leng	shape Area
0	Polygon	1	95001010000000152	{89697469-1F87-486A-9694-96A03E686552}	427.471075	7948.472244
1	Polygon	2	95001010000000154	{AB9B781B-E150-4543-9ABB-B52AE77464E}	364.201766	8162.000244
2	Polygon	3	95001010000000158	{075DAE3A-9E4D-4743-A766-51076B961E87}	202.785782	2459.828216
3	Polygon	4	95001010000000161	{1C707189-F24C-404A-99F6-0D940B574720}	225.749683	1857.490625
4	Polygon	5	95001010000000169	{749B505A-79E7-41F1-988E-A85AB9DCDFE}	232.098392	2170.825679
5	Polygon	6	95001010000000178	{9430A17F-2A9D-4D9E-B0A4-2C8B232208D4}	225.00843	2585.656032
6	Polygon	7	95001010000000194	{97DE6EC2-0293-430E-9489-8A22E51CE745}	170.360332	1766.269537
7	Polygon	8	95001010000000195	{E483601E-DB1B-44CE-A5A5-EE0BBEE632}	206.798322	2320.503566
8	Polygon	9	95001010000000201	{DAA7D134-F813-4DE4-B89E-4F32B90D772}	371.300202	8513.150494
9	Polygon	10	95001010000000204	{87F5FA52-EFD1-4944-96E5-C3A9AD715E35}	228.999685	2737.000121
10	Polygon	11	95001010000000203	{6E52F996-B447-4A27-A1EF-1B4EBF4DE11}	235.000766	2978.513368
11	Polygon	12	95001010000000206	{68F9ED05-3051-4F40-A023-2B45E06A26ED}	236.500308	3494.504858
12	Polygon	13	95001010000000207	{627031F6-F6C3-41A2-90DD-0687CC6D4911}	240.99956	3625.001208
13	Polygon	14	95001010000000208	{ADA9EC63-01F3-497B-9EC4-B8C7EDADCE}	236.000474	3480.008145
14	Polygon	15	95001010000000209	{95114FCC-76F0-4943-B601-B3E0DD47F91F}	235.850915	3474.403841
15	Polygon	16	95001010000000226	{E3992480-72FD-4B14-8775-E7BF5D227418}	265.647499	2887.526254
16	Polygon	17	95001010000000228	{E51B64F3-9038-40F3-83D9-556194A1E0A1}	190.001233	2100.00425
17	Polygon	18	95001010000000229	{7E52B5AC-B6D8-4EA7-8255-DEA710044F8}	278.000191	3959.995569
18	Polygon	19	95001010000000230	{CAEE7872-D8DA-4117-9344-5D8D7D8BE0A}	278.001324	3960.01238
19	Polygon	20	95001010000000231	{C1769CC0-A144-4FC2-98BF-469CE0C5A3A}	317.000082	4739.99217

Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

### Entorno ambiental.

En el mapa número seis (6), sistema ambiental urbano - suelo de protección del plan básico de ordenamiento territorial se presentan las zonas de ronda de nacederos, ríos y quebradas, lagunas y los humedales de San José del Guaviare (Rebalse) y de Panuré. Su espacio de protección esta dado por franjas de 100 metros a lado y lado de los cauces principales, alrededor de los nacederos, lagunas y el humedal y de 30 metros a lado y lado de los cauces secundarios. Dada su importancia para la conservación del recurso hídrico, deben permanecer con vegetación de tipo protector. (Alcaldía de San José del Guaviare, 2002). También es preciso mencionar que el rio Guaviare no tiene plan de manejo y ordenamiento de una Cuenca (POMCA).

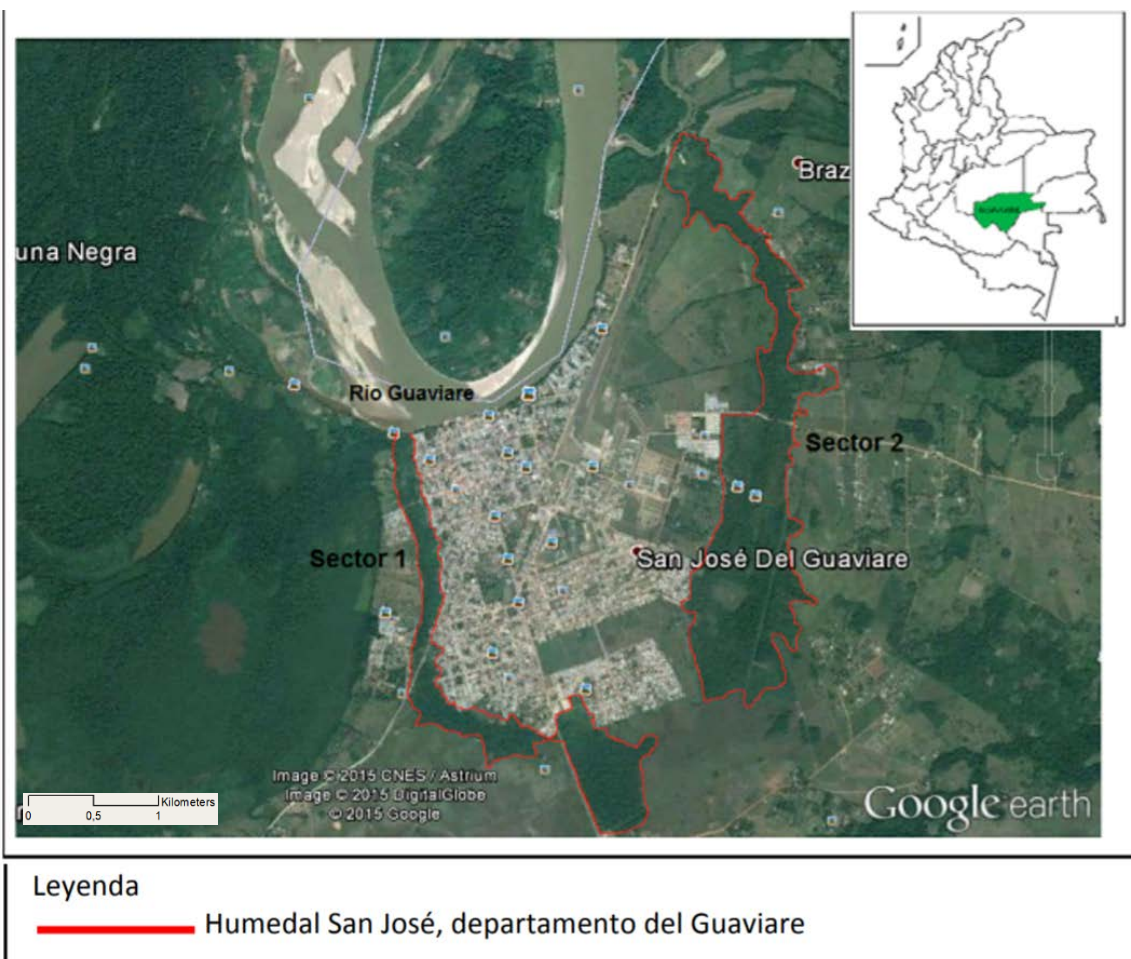
**Figura 4-4:** Sistema ambiental urbano, suelo de protección.



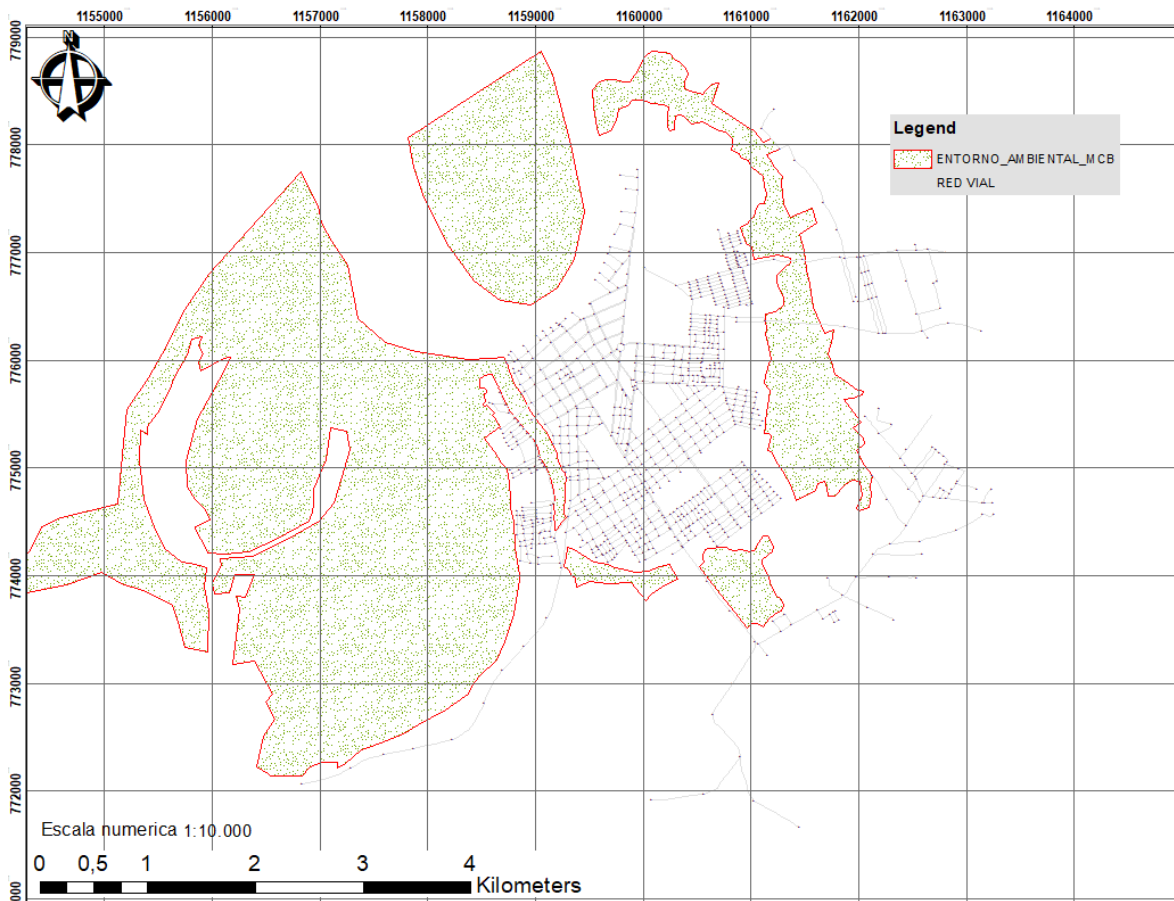
Fuente: Plan básico de ordenamiento territorial. (Alcaldía de San José del Guaviare, 2002).

El sector norte del área urbana de San José del Guaviare tiene gran proximidad con el río Guaviare en una longitud cercana a los 2.800 metros, además de contar con dos humedales que circundan el sector oriental y occidental (SENA Guaviare., 2015), lo cual representa limitantes de expansión urbana hacia estas zonas y a su vez un riesgo inminente de inundación, razones por la cuales se restringe su desarrollo inmobiliario. Lo anterior recalca la importancia de identificar los aspectos ambientales que apliquen para ser tenidos en cuenta ante posibles planteamientos de escenarios de intervenciones viales.

**Figura 4-5:** Aspectos ambientales predominantes en San José del Guaviare.



*Fuente: Semillero de investigación en microbiología y biotecnología SIMB del centro de desarrollo agroindustrial, turístico y tecnológico del Guaviare (SENA).*

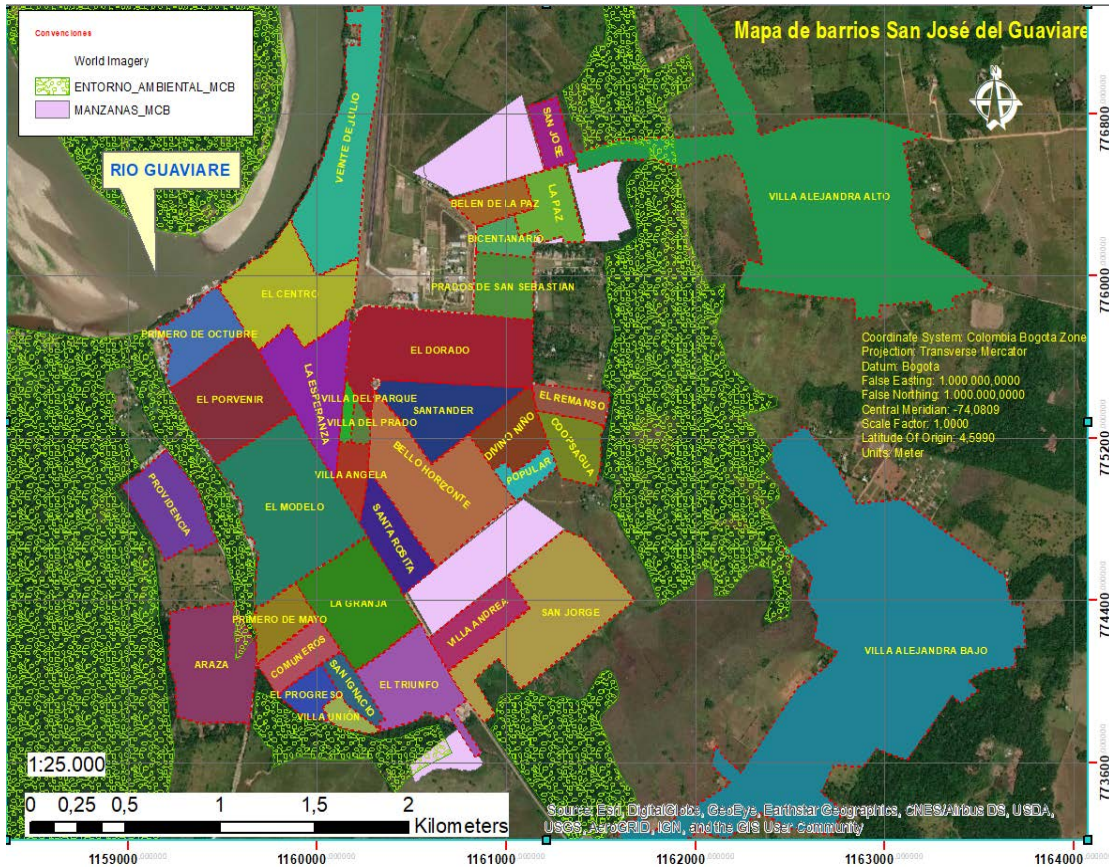
**Figura 4-6:** Aspectos ambientales predominantes en San José del Guaviare.

Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

### Barrios y población.

La geometría de esta capa de información se desarrolló a través del mapa urbano de San José elaborado por la (Gobernación del Guaviare, 2017), donde se establece la división político administrativa de barrios. A continuación, se ilustra el resultado de la cartografía y del geovisor de DANE con el cálculo de población total y por género de los treinta y seis (36) barrios en la tabla de atributos. Ver Anexo A. Cálculo de población por barrios.

Figura 4-7: División político-administrativa de barrios.



Fuente: Elaboración propia en ArcMap a partir de mapa urbano de San José del Guaviare.

Figura 4-8: Tabla final de atributos del Shapefile de barrios.

Shape *	codigo	nombre	Perimetro	Area	N Personas	N Hombres	N Mujeres	Densidad
Polygon 1	1 DE MAYO	1156,328451	7,088898	591	311	280	83,369804	
Polygon 2	1 DE OCTUBRE	1549,218079	11,362276	843	407	436	74,189721	
Polygon 3	20 DE JULIO	4123,123573	35,501432	1655	864	791	46,617838	
Polygon 4	ARAZA	2004,26393	24,026604	2193	1085	1108	91,273822	
Polygon 5	BELÉN DE LA PAZ	1086,727731	5,984429	644	302	342	107,612613	
Polygon 6	BELLO HORIZONTE	2700,552937	31,303333	2206	1054	1152	70,471736	
Polygon 7	BICENTENARIO	1001,232744	4,657356	187	93	94	40,151534	
Polygon 8	BICENTENARIO 2	1337,780322	11,083744	1003	477	526	90,492887	
Polygon 9	COOPSAGUA	1200,539528	8,394309	628	290	338	74,812594	
Polygon 10	EL CENTRO	2415,390749	25,15436	635	456	179	25,244133	
Polygon 11	EL DIVINO NIÑO	1306,702366	9,929862	843	406	437	84,895441	
Polygon 12	EL DORADO	2306,447326	23,954484	1276	633	643	53,267688	
Polygon 13	EL MODELO	2807,61379	38,612653	2625	1253	1372	67,982896	
Polygon 14	EL PORVENIR	1934,834956	22,48279	2556	1228	1328	113,686957	
Polygon 15	EL PROGRESO	968,746291	4,884772	440	206	234	90,075846	
Polygon 16	EL REMANSO	1074,8226	5,52987	704	332	372	127,308596	
Polygon 17	EL TRIUNFO	2283,408854	17,837685	1063	490	573	59,592935	
Polygon 18	LA ESPERANZA	2201,716444	19,334633	811	471	340	41,945457	
Polygon 19	LA GRANJA	1921,047531	23,028525	2041	987	1054	88,62921	
Polygon 20	LA PAZ	1440,751453	9,294268	1540	728	812	165,693517	
Polygon 21	LOS COMUNEROS	1201,695549	7,741168	512	229	283	66,13989	
Polygon 22	POPULAR	962,286052	4,065811	436	210	226	107,235681	
Polygon 23	PRADOS DE SAN SEBASTIAN	1241,27658	9,605591	973	461	512	101,295169	
Polygon 24	PROVIDENCIA	2110,785136	17,764296	996	482	514	56,067518	
Polygon 25	SAN IGNACIO	1081,148176	4,841048	393	174	219	81,180767	
Polygon 26	SAN JORGE	3319,085292	35,083524	3961	1895	2066	112,901998	
Polygon 27	SAN JOSE	1004,550317	5,563053	279	151	128	50,152319	
Polygon 28	SANTA ROSITA	1510,237859	10,585302	687	340	347	64,901312	
Polygon 29	SANTANDER	1942,60295	16,596572	740	325	415	44,58752	
Polygon 30	VILLA ALEJANDRA ALTO	8951,105139	193,223512	663	335	328	3,431259	
Polygon 31	VILLA ALEJANDRA BAJO	6625,790856	174,487848	558	272	286	3,19793	
Polygon 32	VILLA ANDREA	1450,490935	10,302819	1111	547	564	107,834561	
Polygon 33	VILLA ANGELA	986,213258	4,879599	270	126	144	55,33241	
Polygon 34	VILLA DEL PARQUE	614,229848	1,757098	35	14	21	19,919203	
Polygon 35	VILLA DEL PRADO	721,64431	1,723573	57	22	35	33,07829	
Polygon 36	VILLA UNIÓN	754,208242	2,556751	135	66	69	52,801384	

Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.



Arcos viales.

Esta capa geográfica constituye el principal insumo en los cálculos de accesibilidad media global mediante la creación de los arcos y nodos de la red de transporte. La geometría y nomenclatura vial de las calles, carreras y transversales está basada en el mapa base [Imagery with labels](#) de ESRI en ArcMap, las vías que no tienen nomenclatura por estar en zonas de periferia se les asignó el texto “Vías de expansión urbana”.

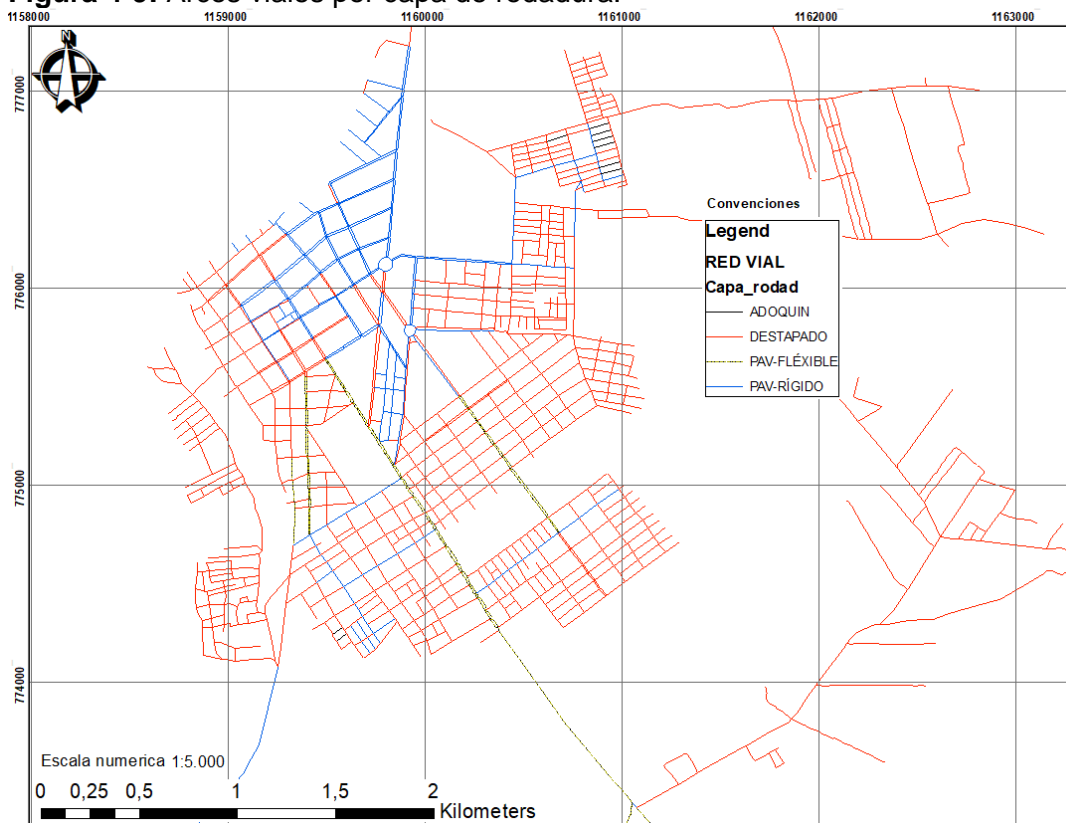
Ahora se presenta la relación total de longitud y la velocidad media espacial del grupo de arcos viales según jerarquía vial del PBOT.

**Tabla 4-1:** Relación de arcos por longitud y velocidad media espacial.

<b>Jerarquía vial Según PBOT.</b>	<b>Longitud (m).</b>	<b>Vel media espacial (km/h).</b>
<i>VU 1 – Vía urbana de primer orden.</i>	12,292	28.07
<i>VU 2 – Vía urbana de segundo orden.</i>	26,960	22.78
<i>VU 3 – Vía urbana local.</i>	1,107	15.72
<i>VU 4 – Vía urbana de acceso.</i>	74,963	16.14
<i>Vías expansión urbana.</i>	33,884	17.15
<b>Total general.</b>	<b>149,208</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-9:** Arcos viales por capa de rodadura.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

La red de transporte está compuesta por tramos de vía en pavimento rígido, pavimento flexible, adoquín y algunos en destapado. El cálculo de longitud total de arcos viales por capa de rodadura se tiene en la tabla 4.2.

**Tabla 4-2:** Relación de arcos de la red en estudio por tipo de capa de rodadura.

<b>TIPO</b>	<b>LONGITUD (m)</b>
<i>DESTAPADO</i>	77,331
<i>PAVIMENTO RÍGIDO (LOSAS DE CONCRETO)</i>	57,666
<i>PAVIMENTO FLEXIBLE (ASFALTO)</i>	11,703
<i>PAVIMENTO ARTICULADO (ADOQUÍN)</i>	2,508
<b>TOTAL</b>	<b>149,208</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

Del aplicativo web *Street view* se extrajo el siguiente registro fotográfico por cada tipo de capa de rodadura y como complemento se tiene el *Anexo B. Registro Fotográfico de sitios de interés del proyecto.*

**Figura 4-10:** Tramo vial en pavimento rígido, calle 10 con transversal 20.



*Fuente: Street view de Google Maps.*

**Figura 4-11:** Tramo vial en pavimento flexible, carrera 20 con calle 19.



*Fuente: Street view de Google Maps.*

**Figura 4-12:** Tramo vial en destapado, calle 12 con carrera 26.



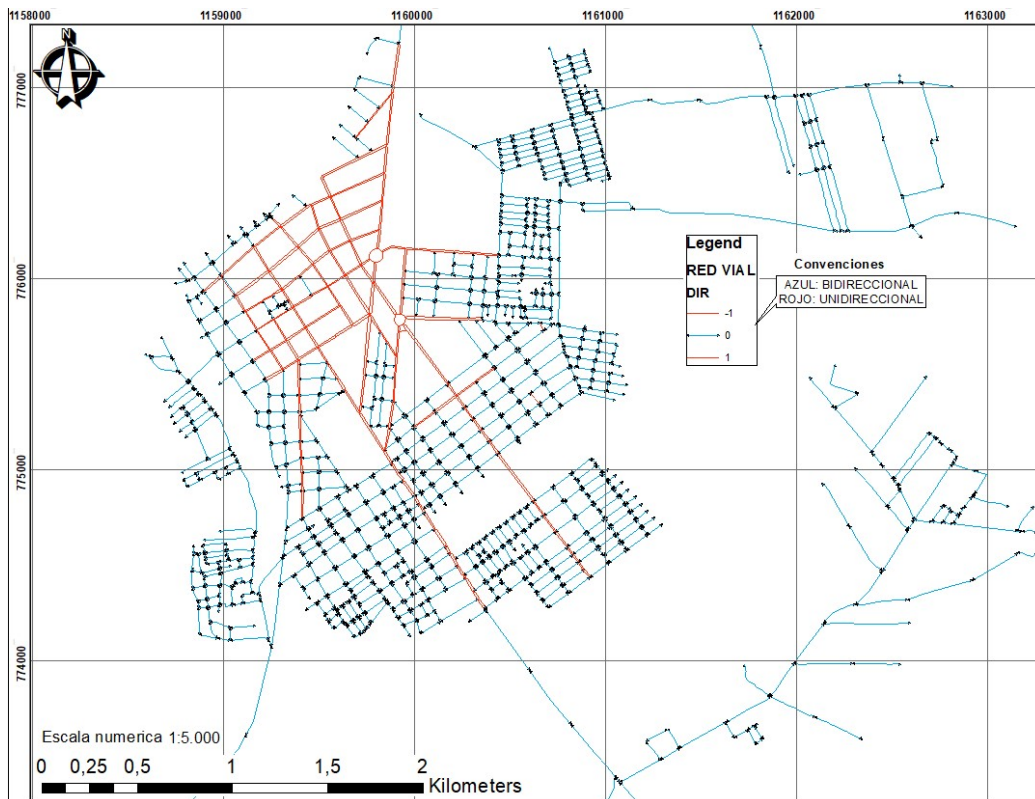
Fuente: Street view de Google Maps.

**Figura 4-13:** Tramo vial en pavimento articulado, calle 6a con carrera 30.



Fuente: Street view de Google Maps.

**Figura 4-14:** Red vial según direccionalidad.



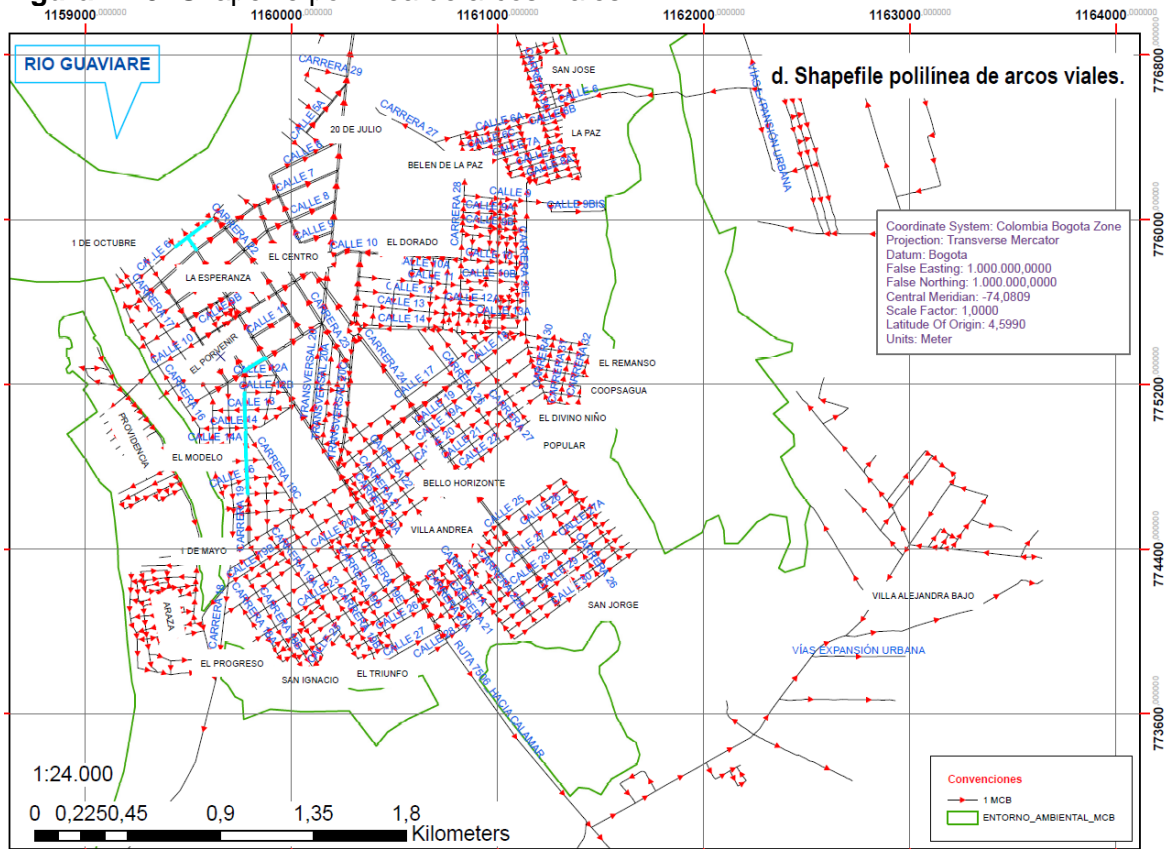
Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

**Tabla 4-3:** Relación de arcos de la red en estudio por tipo de capa de rodadura.

SENTIDO VIAL	LONGITUD (m)
UNIDIRECCIONAL	37,011
BIDIRECCIONAL	112,196
<b>Total</b>	<b>149,208</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-15:** Shapefile polilínea de arcos viales.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

**Figura 4-16:** Tabla de atributos mínimos de arcos viales.

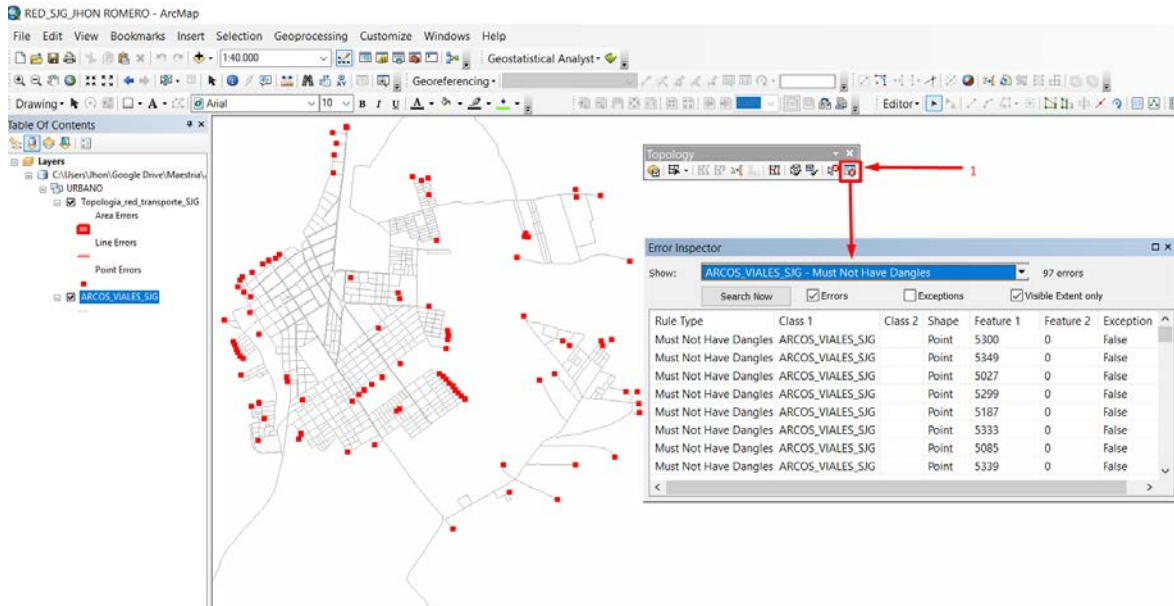
1 MCB					
Nomenclatura vial	Longit	Jerarquía	Capa rodad	DIR	
CALLE 12	124,13	VU 2 - VÍA URBANA DE SEGUNDO ORDE	DESTAPADO	-1	
CARRERA 19	87,619	VU 2 - VÍA URBANA DE SEGUNDO ORDE	PAV-FLÉXIBLE	-1	
CARRERA 19	90,247	VU 2 - VÍA URBANA DE SEGUNDO ORDE	PAV-FLÉXIBLE	-1	
CARRERA 19	143,45	VU 2 - VÍA URBANA DE SEGUNDO ORDE	PAV-FLÉXIBLE	1	
CARRERA 19	87,588	VU 2 - VÍA URBANA DE SEGUNDO ORDE	PAV-FLÉXIBLE	-1	
CARRERA 19	78,098	VU 2 - VÍA URBANA DE SEGUNDO ORDE	PAV-FLÉXIBLE	-1	
CALLE 6	71,384	VU 4 - VÍA URBANA DE ACCESO	DESTAPADO	0	
CARRERA 20	74,456	VU 1 - VÍA URBANA DE PRIMER ORDEN	DESTAPADO	0	
CALLE 6	74,619	VU 4 - VÍA URBANA DE ACCESO	DESTAPADO	0	
CALLE 6	76,266	VU 4 - VÍA URBANA DE ACCESO	DESTAPADO	0	

Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

### 4.1.2 Revisión y validación topológica.

Los puntos rojos que se observan en la figura 4-17 son nodos que no conectan con otros nodos, para este caso no existe el error puesto que es el final de un tramo vial, también se observa que la red no presenta ningún tipo de error de traslapo de arcos lo cual es bueno para poder seguir con la exportación a TransCAD.

**Figura 4-17:** Revisión y validación topológica.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

## 4.2 Análisis y obtención de las condiciones operativas de la red de transporte.

### 4.2.1 Cálculo de velocidades de operación en Google Maps y tiempo de viaje para cada arco.

Los resultados del cálculo de velocidades de operación en Google Maps y tiempo de viaje para arco se encuentran detallados en el Anexo C. Velocidades operativas de los arcos viales, donde se evaluaron ciento ochenta y dos (182) tramos en la zona urbana y treinta y dos (32) tramos en zonas de expansión urbana, para un total de doscientos catorce (214) tramos distribuidos espacialmente por toda la zona de estudio.

#### 4.2.2 Calibración de la red con *Shortest Path* ruta mínima entre nodos en *TransCAD* y el algoritmo de *Google Maps*.

Los resultados de tiempo de viaje de los arcos obtenidos mediante la herramienta de *Google Maps* ([Ver sección 3.2.1](#)) contienen de manera implícita todos los tiempos de giros, trancones y demás eventos de pérdidas de tiempo ocasionados por cualquier razón técnica o social que afecte la movilidad, por lo cual no se tendrán en cuenta en el desarrollo de los cálculos de *Shortest Path* ruta mínima entre nodos en *TransCAD* las penalidades y su valor será de cero. A continuación se tienen los resultados de la correcta calibración respecto al tiempo mínimo de viaje para treinta rutas por medio de *Google Maps* y *TransCAD*. El soporte de los resultados se encuentra en el [Anexo D. Calibración de la red](#).

**Tabla 4-4:** Cálculo de tiempos mínimos de viaje en minutos para rutas de análisis y comparación entre *TransCAD* y *Google Maps*.

<i>Ruta</i>	<i>TransCAD</i>	<i>Google Maps</i>	<i>Ruta</i>	<i>TransCAD</i>	<i>Google Maps</i>
<b>1</b>	8.0072	8.00	<b>16</b>	7.7944	8.00
<b>2</b>	6.1285	6.00	<b>17</b>	4.9717	5.00
<b>3</b>	6.1180	6.00	<b>18</b>	4.9193	5.00
<b>4</b>	4.0413	4.00	<b>19</b>	4.1006	4.00
<b>5</b>	6.9419	7.00	<b>20</b>	4.9812	5.00
<b>6</b>	7.0628	7.00	<b>21</b>	8.9504	9.00
<b>7</b>	5.9991	6.00	<b>22</b>	5.063	5.00
<b>8</b>	4.2094	4.00	<b>23</b>	4.0187	4.00
<b>9</b>	6.1949	6.00	<b>24</b>	4.0252	4.00
<b>10</b>	4.8593	5.00	<b>25</b>	5.0172	5.00
<b>11</b>	3.9372	4.00	<b>26</b>	7.1283	7.00
<b>12</b>	5.0280	5.00	<b>27</b>	7.0883	7.00
<b>13</b>	6.9879	7.00	<b>28</b>	5.0389	5.00
<b>14</b>	6.0267	6.00	<b>29</b>	5.9712	6.00
<b>15</b>	4.8708	5.00	<b>30</b>	6.1481	6.00

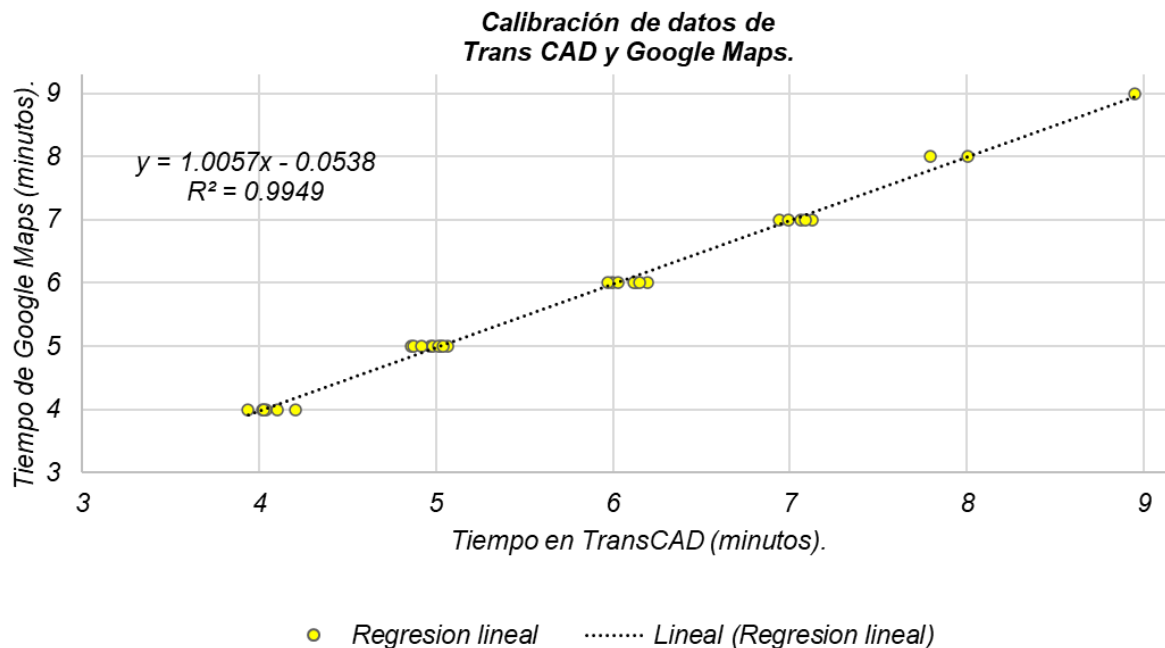
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la tabla anterior se realiza la estadística descriptiva y el análisis de regresión lineal para comprobar la relación efectiva de las variables de cálculo de tiempos de viaje y asegurar la calibración de los datos.

**Tabla 4-5:** Estadística descriptiva de los datos de tiempos mínimos de viaje.

<b>TransCAD</b>		<b>Google Maps</b>	
Media	5.72	Media	5.7
Error típico o estándar	0.24	Error típico o estándar	0.24
Mediana	5.51	Mediana	5.5
Moda	-	Moda	5
Desviación estándar	1.33	Desviación estándar	1.34
Varianza de la muestra	1.77	Varianza de la muestra	1.80
Rango	5.01	Rango	5
Mínimo	3.93	Mínimo	4
Máximo	8.95	Máximo	9
Suma	171.62	Suma	171
Recuento	30	Recuento	30

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-18:** Calibración de datos de TransCAD y Google Maps.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-6:** Resumen de estadísticas de la regresión.

<b>NOMBRE</b>	<b>VALOR</b>
<i>Coeficiente de Correlación Múltiple</i>	<i>0.9974</i>
<i>Coeficiente de Determinación R<sup>2</sup></i>	<b><i>0.9949</i></b>
<i>R<sup>2</sup> Ajustado</i>	<i>0.9947</i>
<i>Error Típico</i>	<i>0.0972</i>
<i>Observaciones</i>	<i>30</i>

*Fuente: Elaboración propia.*

Los valores comparativos de media, mediana, varianza y desviación estándar en los dos grupos de variables son bastante cercanos debido a la similitud en los tiempos calculados mientras que en la moda solo se presenta valor en los cálculos de Google Maps ya que en TransCAD no existen dos valores iguales debido a que este calcula sus resultados con hasta cuatro (4) decimales lo cual dificulta su repetición.

Como resultado del análisis de regresión lineal realizado en dos variables de medición de tiempo de viaje para las treinta (30) rutas evaluadas se pudo comprobar la alta relación lineal de los valores estudiados teniendo presente el valor del coeficiente de determinación R<sup>2</sup>, con lo cual es posible inferir una efectiva bondad de ajuste. Lo anterior significa que el modelo de red elaborado en TransCAD mediante el desarrollo expuesto en los capítulos [4.1](#) y [4.2](#) se encuentra configurado de tal forma que puede servir de base para desarrollar los cálculos de accesibilidad global en el escenario actual, escenarios propuestos con adición y/o modificación de la infraestructura vial existente y escenarios en función de modos de transporte.



### 4.3 Accesibilidad media global, escenario actual.

El escenario actual se desarrolla con las velocidades operativas de la red de transporte privado, según los resultados del capítulo 4.2.1

#### 4.3.1 Matriz de tiempos de viaje.

Ahora se calcula a través del algoritmo de Dijkstra la matriz (tamaño nxn), en función de minimizar el tiempo de viaje (*Múltiple paths*) de todos los campos a todos los campos, según resultado del proceso ilustrado en la figura 3-19, siendo n igual novecientos treinta y tres (933) nodos de la red.

Figura 4-19: Matriz de tiempos de viaje para la red de transporte actual.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Sum
1	0.00	0.24	4.67	3.91	6.10	3.58	2.07	2.22	5.06	4.95	1.89	1.65	3.66	2.40	6.11	5.67	8.06	7.96	6.06	7.93	7.86	3.82	6895.92
2	0.24	0.00	4.05	4.51	5.95	4.18	1.92	2.07	4.77	4.66	1.71	1.47	3.67	2.58	4.88	4.44	6.83	6.72	6.82	6.89	6.83	1.79	7325.62
3	3.90	4.43	0.00	0.17	1.95	3.18	2.99	4.29	7.36	4.29	3.96	3.64	4.23	5.31	8.61	10.26	10.16	10.26	10.13	10.06	6.22	7376.62	7376.62
4	5.76	5.78	2.49	0.00	1.78	3.11	4.71	6.02	6.73	6.62	6.07	5.45	3.79	5.03	9.04	7.68	8.99	8.98	8.98	8.88	8.89	7.25	7630.00
5	4.18	4.72	3.45	1.66	0.00	0.18	3.37	3.53	6.36	6.25	3.17	3.41	2.53	3.76	8.92	9.51	9.61	9.61	9.48	9.42	6.91	6786.52	6786.52
6	4.52	4.54	2.02	0.33	2.06	0.00	3.01	3.24	6.17	6.06	2.99	3.22	2.34	3.58	8.73	7.37	9.42	9.31	9.41	9.29	9.22	6.20	7336.52
7	4.05	4.07	2.94	3.11	4.03	5.36	0.00	0.16	3.53	3.42	4.57	3.74	2.86	4.10	5.84	4.48	6.29	6.18	6.28	6.15	6.09	3.48	7354.02
8	3.46	3.48	1.63	1.88	3.58	4.91	2.82	0.00	3.38	3.27	3.98	3.15	2.28	3.52	5.69	4.32	6.13	6.03	6.13	6.00	5.93	3.32	6298.62
9	3.54	3.70	5.91	6.08	6.53	7.13	2.97	3.12	0.00	0.11	4.18	5.17	4.91	5.14	4.45	3.88	5.15	5.04	5.14	5.01	4.95	1.82	6298.62
10	3.65	3.61	6.02	6.15	6.42	7.24	3.08	3.24	0.11	0.00	4.91	5.28	5.02	5.25	4.34	2.97	5.04	4.93	5.03	4.98	4.94	1.84	6326.26
11	2.04	1.86	4.53	4.70	6.41	5.11	1.56	2.83	5.66	5.55	0.00	0.24	0.81	1.04	6.74	6.30	6.69	6.58	6.68	6.55	6.49	3.65	7634.35
12	1.70	1.46	4.08	5.05	5.97	4.07	1.80	2.10	4.93	4.82	0.24	0.00	2.20	2.43	6.58	6.06	6.19	6.08	6.18	6.05	7.99	2.41	7598.06
13	2.39	2.53	3.72	3.89	5.68	4.34	3.42	4.22	7.85	6.94	3.51	2.12	0.80	0.24	7.41	6.97	9.36	9.25	9.35	9.22	9.16	4.36	7443.11
14	4.32	4.51	2.40	2.66	4.43	4.98	2.18	3.49	6.34	6.23	3.15	3.39	2.51	0.00	8.90	7.53	9.40	9.29	9.39	9.26	6.29	7915.16	7915.16
15	6.26	4.88	8.41	8.70	8.54	9.06	5.59	5.75	4.45	4.34	6.59	6.35	0.10	7.46	2.00	0.21	3.37	3.46	2.06	1.85	2.26	4.02	10448.12
16	5.82	4.44	7.19	7.49	7.32	8.62	4.38	4.53	3.23	3.12	6.15	5.91	6.89	7.02	0.21	0.00	3.46	4.48	3.15	2.94	3.47	2.80	9754.82
17	8.36	6.98	8.78	9.70	8.89	10.22	6.59	6.75	5.45	5.34	8.58	8.45	8.48	9.56	3.37	3.46	0.00	0.11	1.46	1.67	1.29	5.34	11558.03
18	8.26	6.87	8.68	9.60	8.78	10.12	6.49	6.64	5.34	5.23	8.58	8.34	8.37	9.45	3.46	4.57	0.11	0.00	1.54	2.76	0.20	5.23	11511.13
19	8.18	6.79	8.78	9.70	8.88	10.22	6.59	6.74	5.44	5.33	8.58	8.26	8.47	9.37	1.91	3.15	1.31	1.39	0.00	0.21	0.19	5.33	11488.29
20	7.96	6.58	8.65	9.57	8.75	10.09	6.46	6.61	5.31	5.20	8.29	8.05	8.34	9.16	1.78	2.94	1.52	2.65	0.21	0.00	1.26	5.21	11397.17
21	8.16	6.78	8.90	9.90	9.03	10.02	6.39	6.55	5.25	5.14	8.49	8.25	8.28	9.36	2.11	3.47	1.31	0.28	0.19	1.41	0.80	5.14	11388.04
22	3.02	1.64	6.00	6.15	6.99	5.82	3.06	3.22	2.04	1.92	3.35	3.11	5.00	4.22	4.02	2.65	5.04	4.93	5.03	4.91	4.84	0.80	8181.31
23	3.42	2.04	5.99	6.55	6.77	6.22	3.46	3.62	2.25	2.14	3.75	3.51	5.40	4.62	2.25	4.64	4.53	4.63	4.51	4.44	0.40	0.40	8262.56
24	3.92	2.54	6.90	7.05	7.99	6.72	3.96	4.12	4.27	4.16	4.25	4.01	5.90	5.12	2.34	1.94	5.40	5.46	4.40	4.19	4.59	3.37	8872.39
25	4.98	3.91	7.87	8.02	8.68	7.69	4.93	5.09	4.09	3.98	5.22	4.98	6.87	6.88	3.44	2.88	5.64	5.64	5.23	5.02	5.05	3.39	8664.95
26	3.81	2.43	6.79	6.94	7.88	6.61	3.85	4.00	5.65	5.54	4.14	3.90	5.79	5.01	3.53	3.26	5.61	5.51	5.59	5.38	5.41	3.26	9915.04
27	4.03	2.64	7.00	7.15	8.09	6.82	4.07	4.22	5.40	5.29	4.35	4.11	6.00	5.22	3.38	3.04	5.39	5.29	5.16	5.16	5.19	3.47	9053.72
28	4.93	3.95	7.91	8.06	8.97	7.73	4.97	5.12	4.86	3.95	5.26	5.02	6.91	6.13	3.41	2.84	5.51	5.62	5.28	4.98	5.52	3.36	9887.98
29	5.88	3.70	7.03	7.20	7.29	7.88	4.88	4.24	2.76	2.65	5.41	5.17	6.95	6.28	3.26	1.90	5.36	5.77	5.05	4.84	5.68	2.86	9454.44
30	5.74	4.36	8.72	8.87	9.81	8.54	5.78	5.94	5.89	5.78	6.07	5.83	7.72	6.94	2.80	2.59	4.92	5.00	4.61	4.39	4.90	5.19	10595.34
31	6.85	5.46	9.63	9.92	9.76	9.64	6.81	6.97	5.67	5.56	7.17	6.93	8.82	8.04	1.58	1.29	3.77	4.71	3.46	3.24	4.61	5.24	11263.16
32	3.82	2.44	6.88	6.95	7.89	6.62	3.86	4.01	4.37	4.26	4.15	3.91	5.88	5.02	2.44	2.04	5.58	5.89	4.58	4.29	4.69	3.27	8895.35
33	5.00	3.62	7.96	8.13	8.71	7.80	5.04	5.20	4.08	4.08	5.33	5.09	6.98	6.20	3.55	2.18	5.64	6.52	5.34	5.12	6.03	3.58	9888.11
34	6.65	5.27	8.63	8.96	8.74	9.45	5.85	6.01	4.71	4.60	6.98	6.74	8.33	7.85	0.39	1.48	1.83	2.88	1.53	1.31	1.87	4.28	10878.26
35	7.19	5.80	8.96	8.85	9.99	5.74	5.98	4.69	4.49	4.59	7.52	7.28	8.26	8.39	1.65	1.37	1.95	2.99	1.64	1.42	1.97	4.17	10977.11
36	5.29	3.95	4.32	5.48	5.19	6.52	3.84	4.80	2.78	2.59	5.67	4.89	4.62	5.25	3.46	2.10	3.87	3.77	3.87	3.74	3.67	2.32	7938.79
37	5.43	4.18	4.54	5.71	5.41	6.75	4.07	4.22	2.92	2.81	5.89	5.12	4.24	5.48	3.33	1.97	5.10	4.99	5.09	4.91	4.90	2.54	8173.67
38	8.25	6.86	8.67	9.59	8.77	10.11	6.48	6.63	5.33	5.22	8.67	8.34	9.44	8.36	2.02	3.26	0.20	1.28	0.11	1.32	0.88	5.23	11413.19
39	8.07	6.68	8.54	9.46	8.65	9.98	6.35	6.51	5.21	5.10	8.40	8.16	8.24	9.27	1.81	3.04	0.42	1.67	1.32	0.11	1.45	5.18	11289.87
40	2.88	1.49	5.85	6.00	6.94	5.67	2.92	3.07	5.11	5.00	3.28	2.96	4.85	4.07	2.24	1.97	4.32	4.22	4.30	4.09	4.12	2.32	8027.89
41	2.86	1.27	5.63	5.78	6.72	5.45	2.85	4.95	4.84	2.98	2.74	4.63	3.85	3.61	3.34	5.69	5.59	5.67	5.46	5.49	5.10	2.10	7951.98
Sum	8138.40	8303.81	8206.16	7633.53	7262.63	7200.27	8019.17	8473.97	9158.21	9165.15	8462.95	8332.04	8879.26	8572.13	11742.77	10711.15	12575.26	12538.68	12538.17	12413.79	12489.53	9562.12	136638.48

Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Los resultados del análisis numérico nos permiten asumir que la matriz no es simétrica, es decir que el tiempo que emplea un nodo i en ir al resto de los nodos es diferente al total del tiempo que emplean todos los nodos en ir al nodo i, ahora bien, el resultado que nos interesa son los marginales totales, de los cuales escogemos la sumatoria de filas porque el análisis busca encontrar los tiempos de cada nodo al resto de la red. Luego, se procedió a la correlación con los nodos en TransCAD para garantizar su correspondencia geográfica efectiva y posteriormente se promedió dividiendo la sumatoria de tiempo de cada nodo entre el número total de estos menos uno (1). Algunos de los resultados se muestran a continuación.

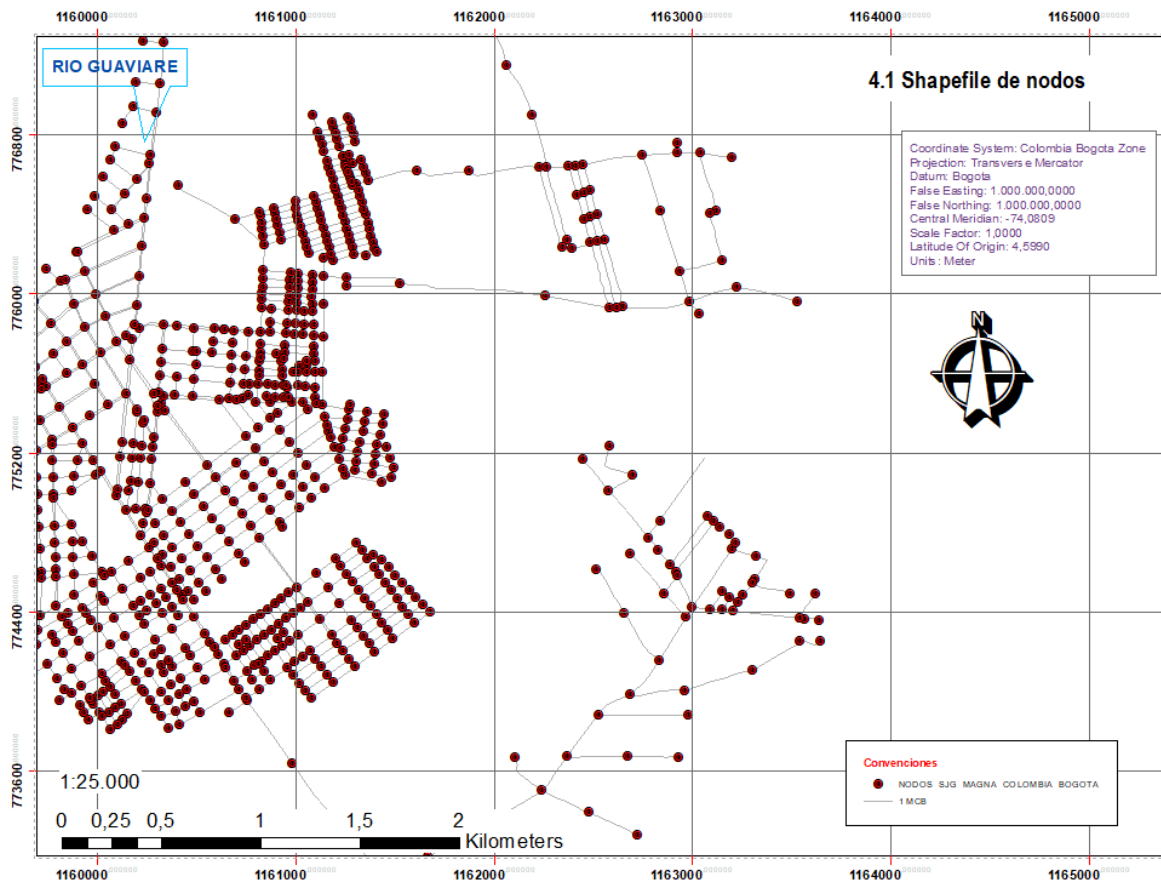
### 4.3.2 Vector de tiempo medio de viaje.

Tabla 4-7: Segmento de datos de vector medio de tiempo de viaje.

ID	LONGITUD	LATITUD	SUM	TV_PROMEDIO
1	-72.6411	2.5771	7770.27	8.33
2	-72.6405	2.5777	7373.15	7.91
3	-72.6304	2.5769	7156.74	7.67
4	-72.6303	2.5766	7206.01	7.73
5	-72.6309	2.5788	7567.31	8.11
6	-72.6307	2.5784	7396.59	7.93
7	-72.6388	2.5679	4459.36	4.78
8	-72.6387	2.5687	4594.55	4.92
9	-72.6371	2.5703	4847.88	5.20
10	-72.6362	2.5702	4838.5	5.19
n-1	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura 4-20: Shapefile de nodos de vector medio tiempo de viaje.



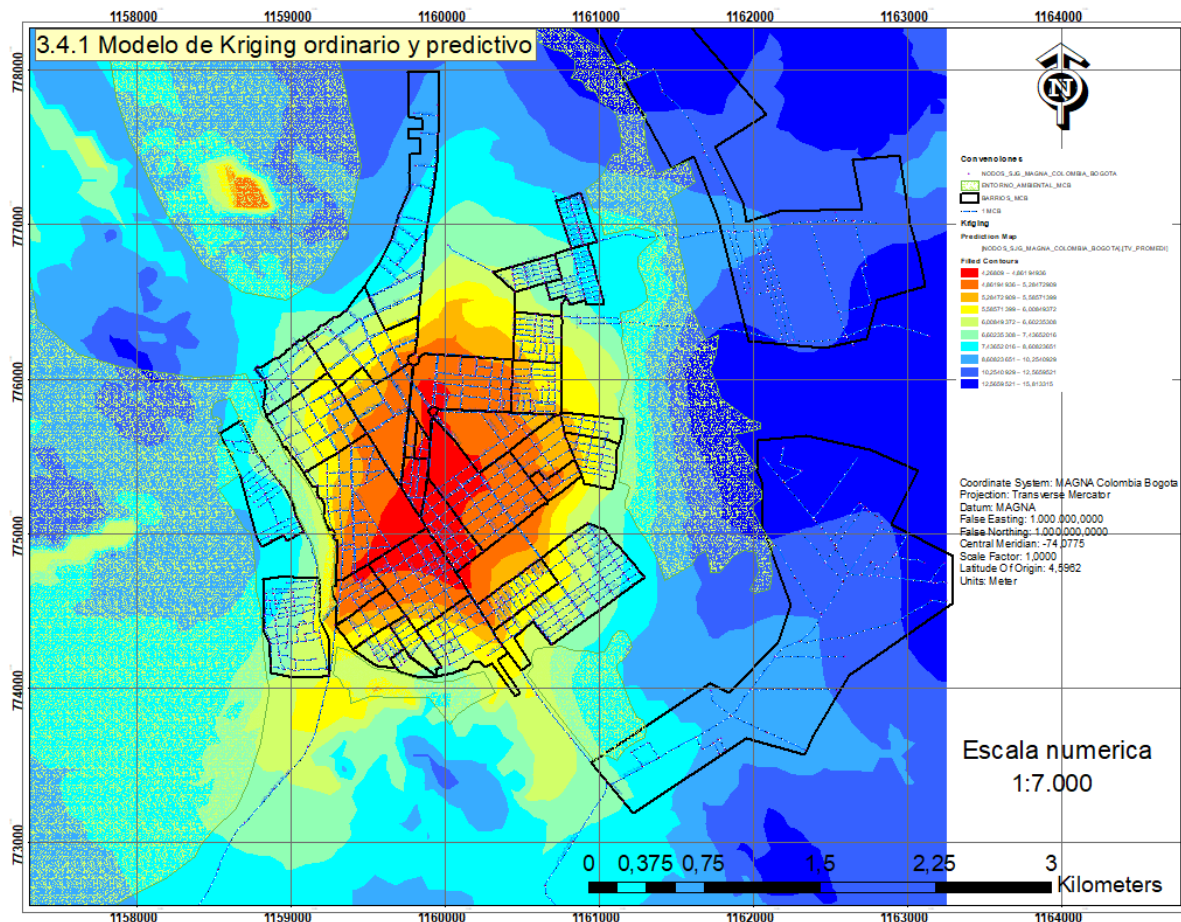
Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

### 4.3.3 Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas de la red - escenario actual.

La red está compuesta por 933 nodos y 1533 arcos, los cuales suman una longitud total (L) de 149.2 km en un rango de extensión lineal que va desde los 12.27 hasta 497.72 m, con promedio de 97.33 m y una desviación estándar de 71.73 m.

El resultado de los cálculos realizados según la [3.3.3](#) arroja un mapa predictivo en función del tiempo promedio de viaje que nos refleja su comportamiento y permite colegir de forma previa las zonas con menor accesibilidad.

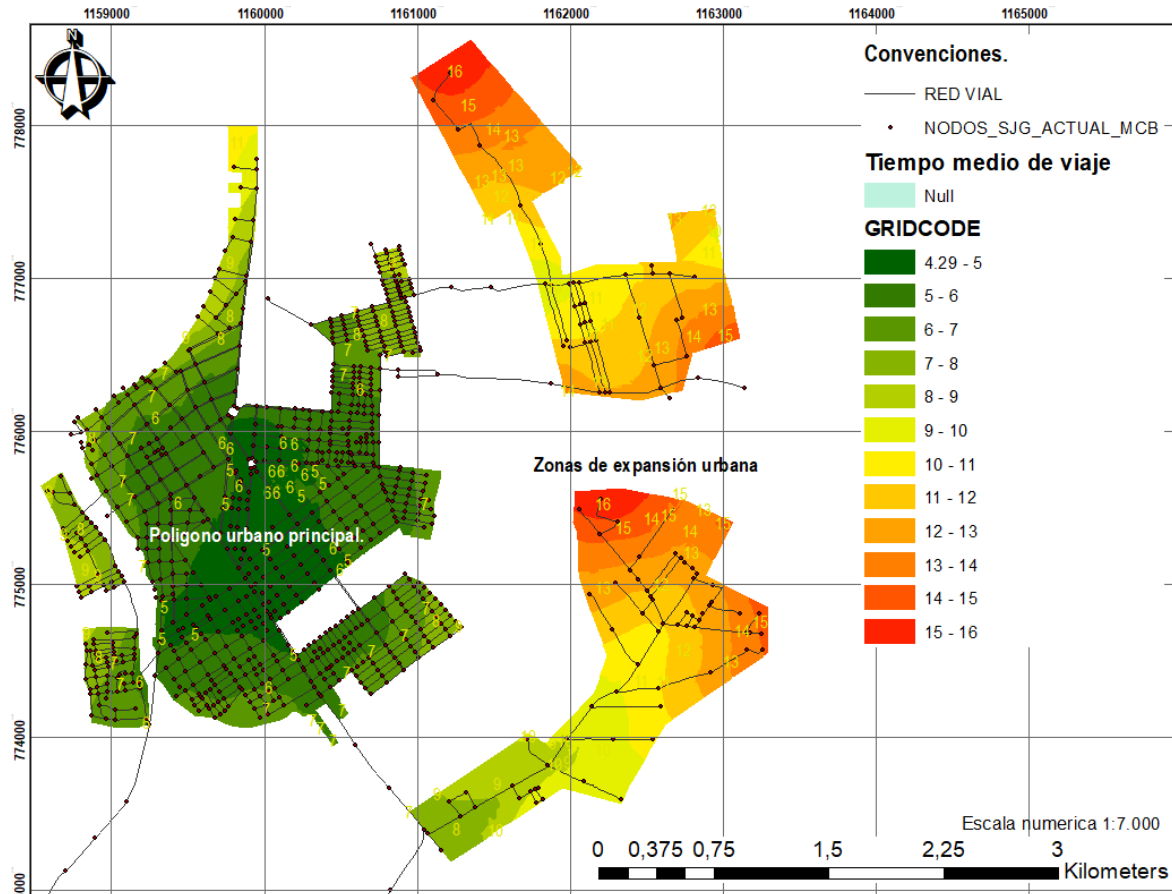
**Figura 4-21:** Resultado de Kriging ordinario y predictivo, escenario actual.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

De acuerdo con el procedimiento establecido por la metodología en los capítulos [3.1](#), [3.2](#) y [3.3](#), se obtuvo los resultados del cálculo de la accesibilidad media global según curvas isócronas.

**Figura 4-22:** Mapa de curvas isócronas de la accesibilidad media global según red vial existente.



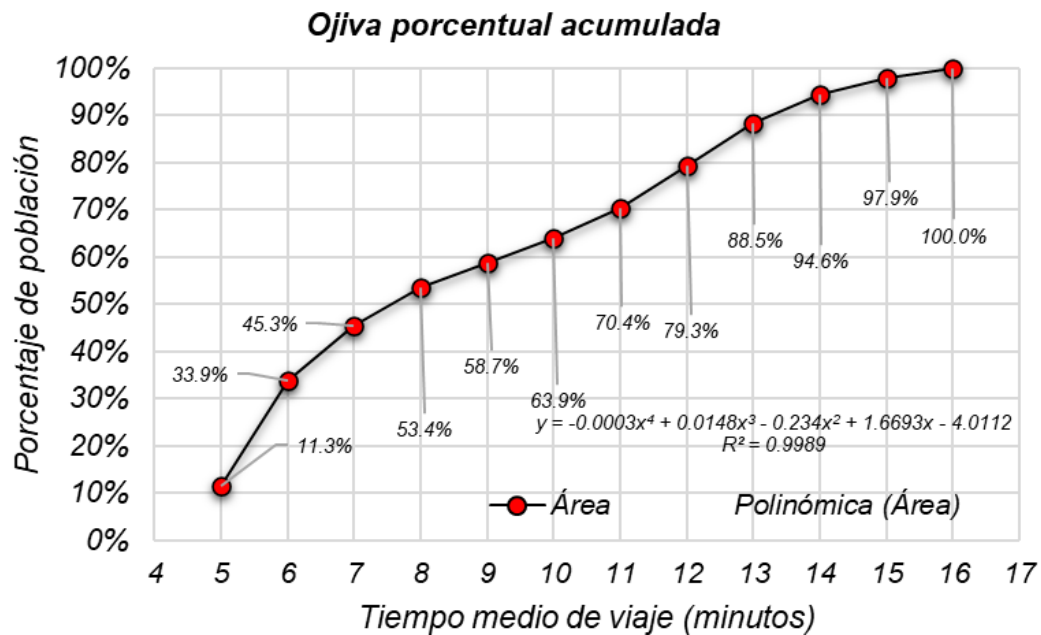
Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

Como resultado del cálculo de accesibilidad media global para la red existente, tenemos que el polígono urbano principal está cubierto dentro de las curvas isócronas de cinco, seis, siete, ocho, nueve y diez minutos, mientras que las zonas urbanas de expansión cuentan con curvas isócronas de accesibilidad desde los nueve minutos hasta las zonas más distantes donde se tienen curvas isócronas de quince y dieciséis minutos.

**Tabla 4-8:** Porcentaje de área cubierta por las curvas isócronas para la red existente.

Curva isócrona	Área cubierta (ha.)	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
5 (4.29-5)	96.86	11.33%	11.33%
6 (5-6)	193.02	22.58%	33.91%
7 (6-7)	97.67	11.42%	45.33%
8 (7-8)	69.28	8.10%	53.43%
9 (8-9)	44.83	5.24%	58.68%
10 (9-10)	44.88	5.25%	63.93%
11 (10-11)	55.01	6.43%	70.36%
12 (11-12)	76.44	8.94%	79.30%
13 (12-13)	78.30	9.16%	88.46%
14 (13-14)	52.22	6.11%	94.57%
15 (14-15)	28.85	3.37%	97.94%
16 (15-16)	17.60	2.06%	100.00%
Total general	854.95	100%	

Fuente: Elaboración propia.

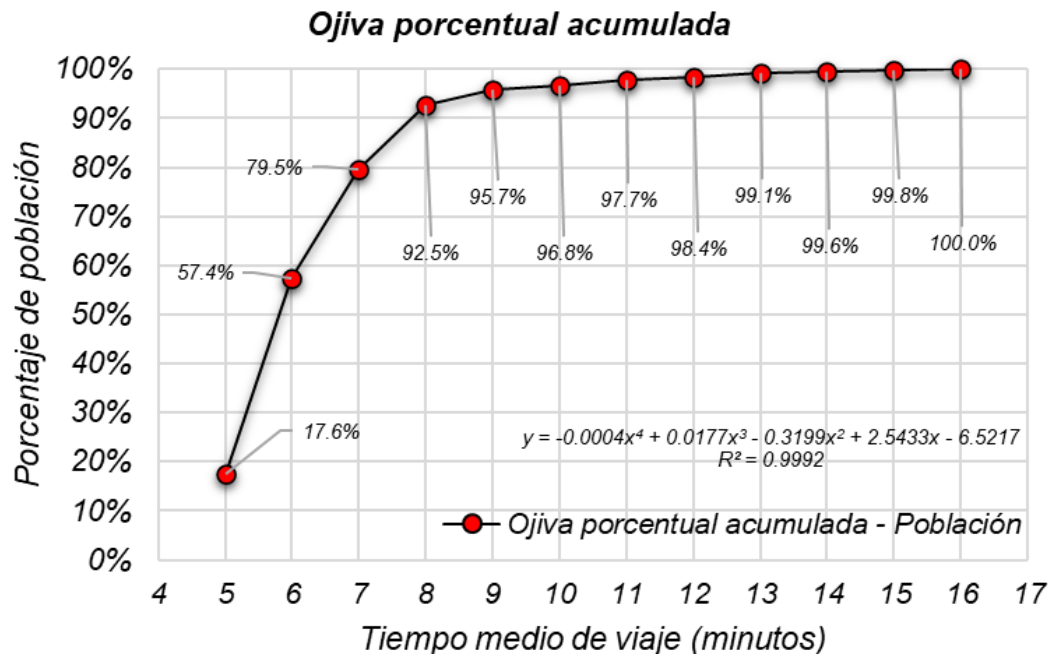
**Figura 4-23:** Ojiva porcentual acumulada de área cubierta para la red existente.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-9:** Porcentaje de población total cubierta por las curvas isócronas para la red existente.

<b>Curva isócrona.</b>	<b>Población cubierta (hab.)</b>	<b>Porcentaje (%).</b>	<b>Porcentaje acumulado (%).</b>
5 (4.29-5)	6393	17.62%	17.62%
6 (5-6)	14422	39.74%	57.36%
7 (6-7)	8032	22.13%	79.49%
8 (7-8)	4734	13.04%	92.54%
9 (8-9)	1144	3.15%	95.69%
10 (9-10)	395	1.09%	96.78%
11 (10-11)	325	0.90%	97.67%
12 (11-12)	256	0.71%	98.38%
13 (12-13)	261	0.72%	99.10%
14 (13-14)	173	0.48%	99.57%
15 (14-15)	96	0.26%	99.84%
16 (15-16)	59	0.16%	100.00%
<b>Total general</b>	<b>36290</b>	<b>100%</b>	

Fuente: Elaboración propia.

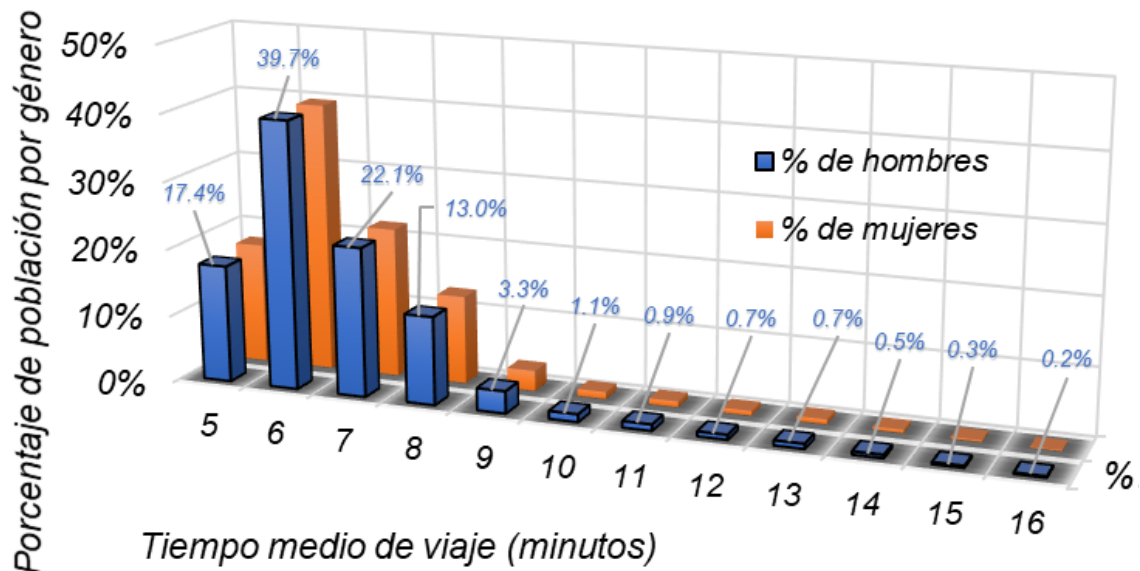
**Figura 4-24:** Ojiva porcentual acumulada de población cubierta para la red existente.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-10:** Porcentaje de población por genero cubierta por las curvas isócronas para la red existente.

Curva isócrona	Rango (min)	Suma de Hombres	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)	Suma de Mujeres	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
5	(4.29-5)	3080	17.38%	17.38%	3313	17.84%	17.84%
6	(5 - 6)	7039	39.72%	57.10%	7383	39.76%	57.60%
7	(6 - 7)	3919	22.12%	79.22%	4113	22.15%	79.75%
8	(7 - 8)	2312	13.05%	92.26%	2422	13.04%	92.79%
9	(8 - 9)	583	3.29%	95.55%	561	3.02%	95.82%
10	(9 - 10)	202	1.14%	96.69%	193	1.04%	96.85%
11	(10-11)	165	0.93%	97.62%	160	0.86%	97.72%
12	(11-12)	128	0.72%	98.35%	128	0.69%	98.41%
13	(12-13)	130	0.73%	99.08%	131	0.71%	99.11%
14	(13-14)	86	0.49%	99.57%	87	0.47%	99.58%
15	(14-15)	48	0.27%	99.84%	48	0.26%	99.84%
16	(15-16)	29	0.16%	100.00%	30	0.16%	100.00%
<b>Total general</b>		<b>36290</b>	<b>17721</b>	<b>100%</b>	<b>18569</b>	<b>100%</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-25:** Porcentaje de población cubierta por género en la red existente.

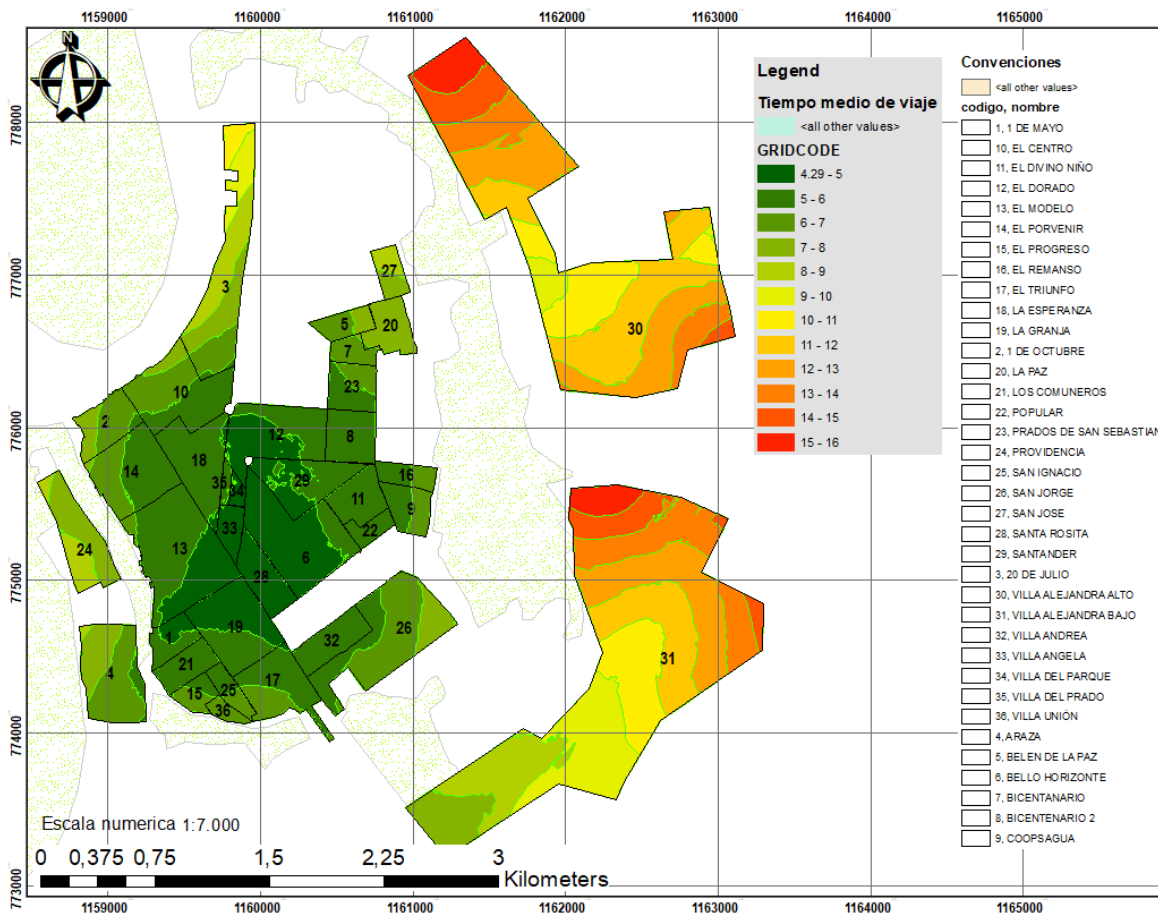
Fuente: Elaboración propia.

## 4.4 Análisis de cobertura actual para los nodos de actividad primaria.

### 4.4.1 Curvas isócronas en relación con la variable geográfica de barrios, escenario actual.

De acuerdo con el procedimiento descrito en el capítulo [3.4.1](#) se realiza una intersección entre la información del polígono de las curvas isócronas de accesibilidad y el polígono de barrios para generar la cobertura de las curvas con la población de los diferentes barrios.

Figura 4-26: Mapa de análisis de cobertura espacial actual por barrios.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

El barrio Santa Rosita presenta la mejor accesibilidad mientras que Villa Alejandra Bajo y Alto tienen las mayores curvas isócronas, aunque su densidad poblacional es baja respecto a los demás barrios. La curva de hasta 6 minutos cubre el 33% de los barrios, la de 7 cubre el 70%, la de 8 el 86%, la de 9 el 92% y la de 16 el 100%. Ver tabla siguiente.



**Tabla 4-11:** Relación de barrios por curva isócrona promedio, población y densidad poblacional, escenario actual.

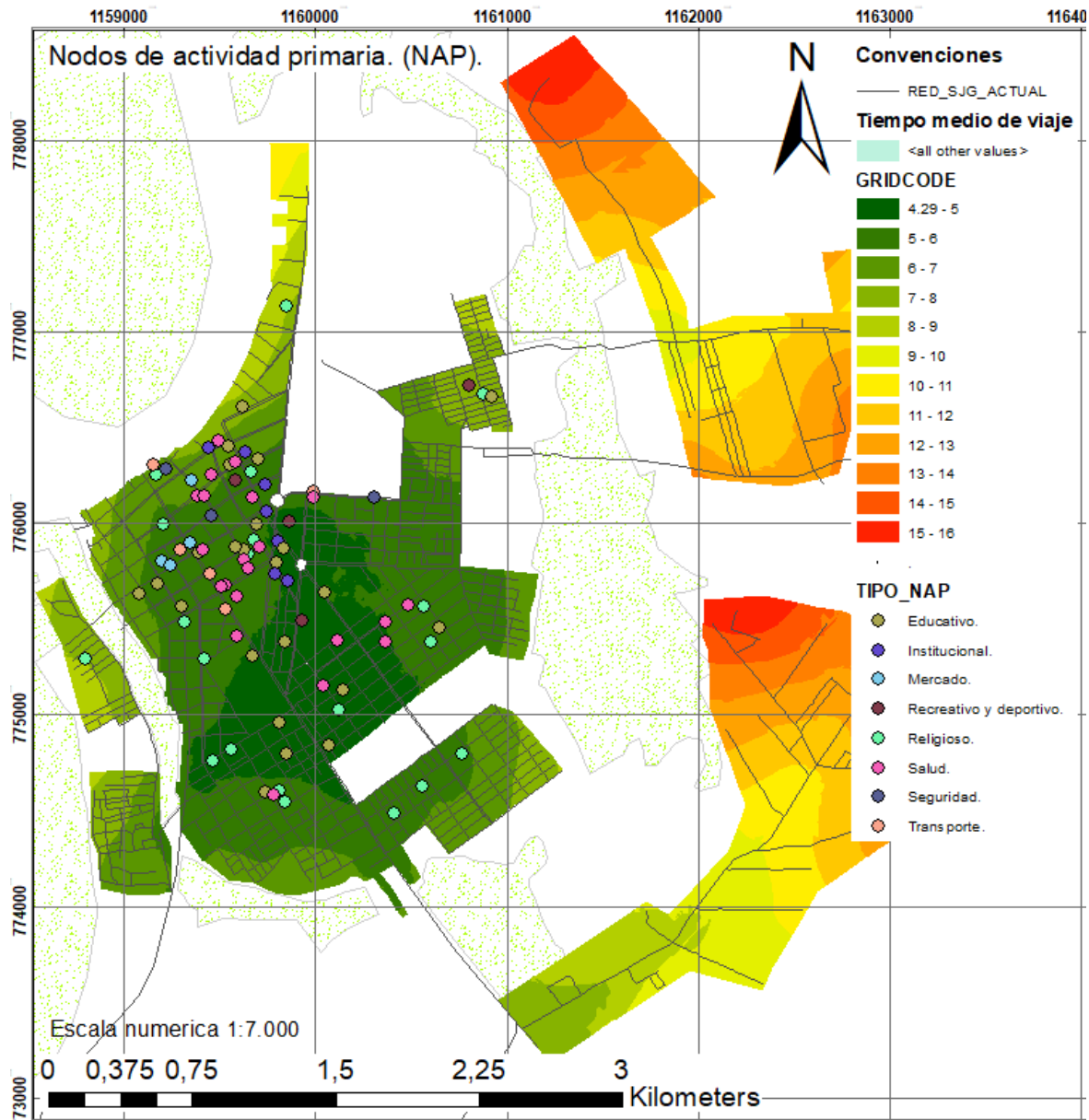
<b>Barrio.</b>	<b>Promedio curvas isócronas (min).</b>	<b>Población (hab).</b>	<b>Densidad poblacional (Hab / ha).</b>
Santa Rosita	5.00	687	64.90
1 de mayo	5.20	591	83.37
Villa Angela	5.33	270	55.33
La Granja	5.40	2041	88.63
Bello Horizonte	5.43	2206	70.47
Villa del Prado	5.44	57	33.07
Villa Andrea	5.50	1111	107.83
El Dorado	5.62	1276	53.27
La Esperanza	5.67	811	41.95
Santander	5.70	740	44.59
El Modelo	5.75	2625	67.98
Villa del Parque	5.80	35	19.92
Popular	6.00	436	107.24
Bicentenario 2	6.00	1003	90.49
El Divino Niño	6.00	843	84.90
Coopsagua	6.25	628	74.81
San Ignacio	6.29	393	81.18
El Triunfo	6.31	1063	59.59
El Progreso	6.33	440	90.08
El Remanso	6.33	704	127.31
Prados de San Sebastián	6.50	973	101.30
Villa Unión	6.50	135	52.80
Los Comuneros	6.50	512	66.14
El Centro	6.80	635	25.24
El Porvenir	6.88	2556	113.69
1 de octubre	7.00	843	74.19
Bicentenario	7.00	187	40.15
San Jorge	7.09	3961	112.90
Arazá	7.13	2193	91.27
La Paz	7.33	1540	165.69
Belén de La Paz	7.50	644	107.61
20 de Julio	8.27	1655	46.62
San José	8.50	279	50.15
Providencia	8.75	996	56.07
Villa Alejandra Bajo	11.18	558	3.20
Villa Alejandra Alto	12.46	663	3.43

Fuente: Elaboración propia.

**4.4.2 Análisis de cobertura para nodos de actividad primaria.**

Los nodos de actividad primaria son todos los equipamientos funcionales existentes en el área urbana del municipio, para el presente proyecto se georreferenciaron de acuerdo con las categorías: institucional, educativo, transporte, religioso, salud, seguridad, recreativo-deportivo y mercado, dada su importancia para los cálculos de accesibilidad media global, ya que son puntos con alta frecuencia de interacción social.

**Figura 4-27:** Cobertura espacial actual de los nodos de actividad primaria.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

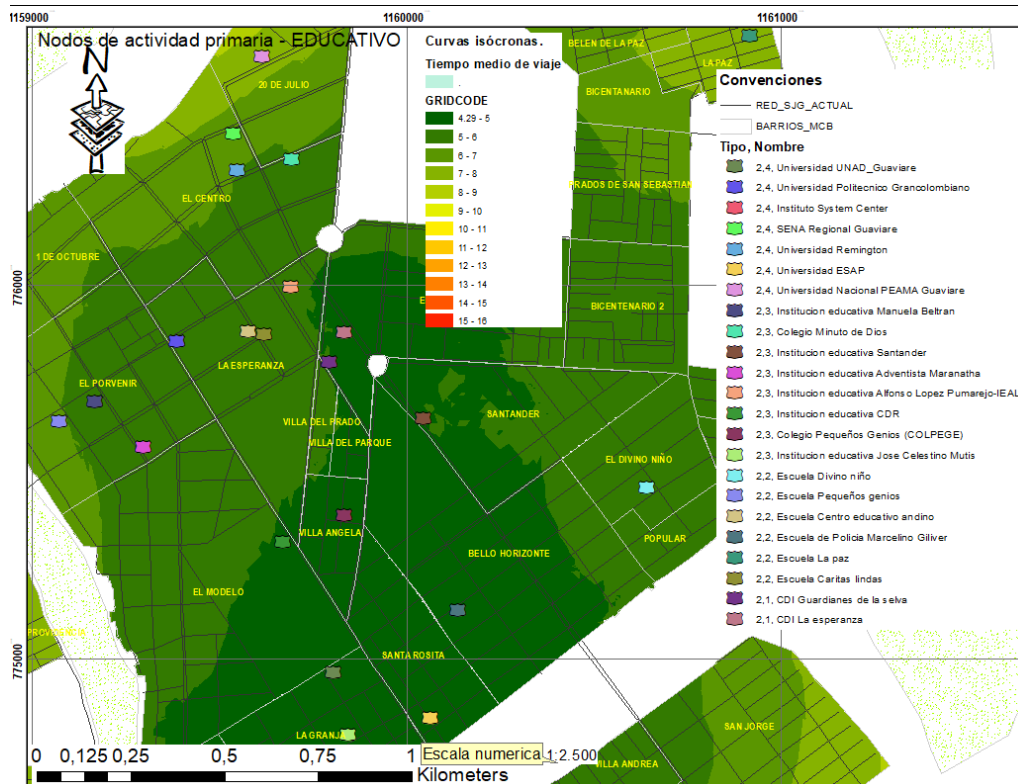


**Tabla 4-13:** Cobertura de nodos de actividad primaria, educativo.

Tipo de NAP	Id	Nombre	Curva Isócrona
CDI	9	CDI La esperanza	5
	10	CDI Guardianes de la selva	6
Escuela	11	Escuela de policía Marcelino Giliver	5
	12	Escuela Caritas lindas	6
	13	Escuela Centro educativo andino	6
	14	Escuela Divino niño	6
	15	Escuela Pequeños genios	7
	16	Escuela La paz	8
Colegio	17	Colegio Pequeños Genios (COLPEGE)	5
	18	institución educativa CDR	5
	19	institución educativa José Celestino Mutis	5
	20	Colegio Minuto de Dios	6
	21	Institución educativa adventista Maranatha	6
	22	Institución educativa Alfonso López-IEALP	6
	23	Institución educativa Manuela Beltrán	6
Universidad o Instituto	24	Institución educativa Santander	6
	25	Universidad ESAP	5
	26	Universidad UNAD Guaviare	5
	27	Instituto System Center	6
	28	Universidad Politécnico Grancolombiano	6
	29	SENA Regional Guaviare	7
	30	Universidad Remington	7
	31	Universidad Nacional PEAMA Guaviare	8

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-29:** Mapa de cobertura de nodos de actividad primaria, educativo.



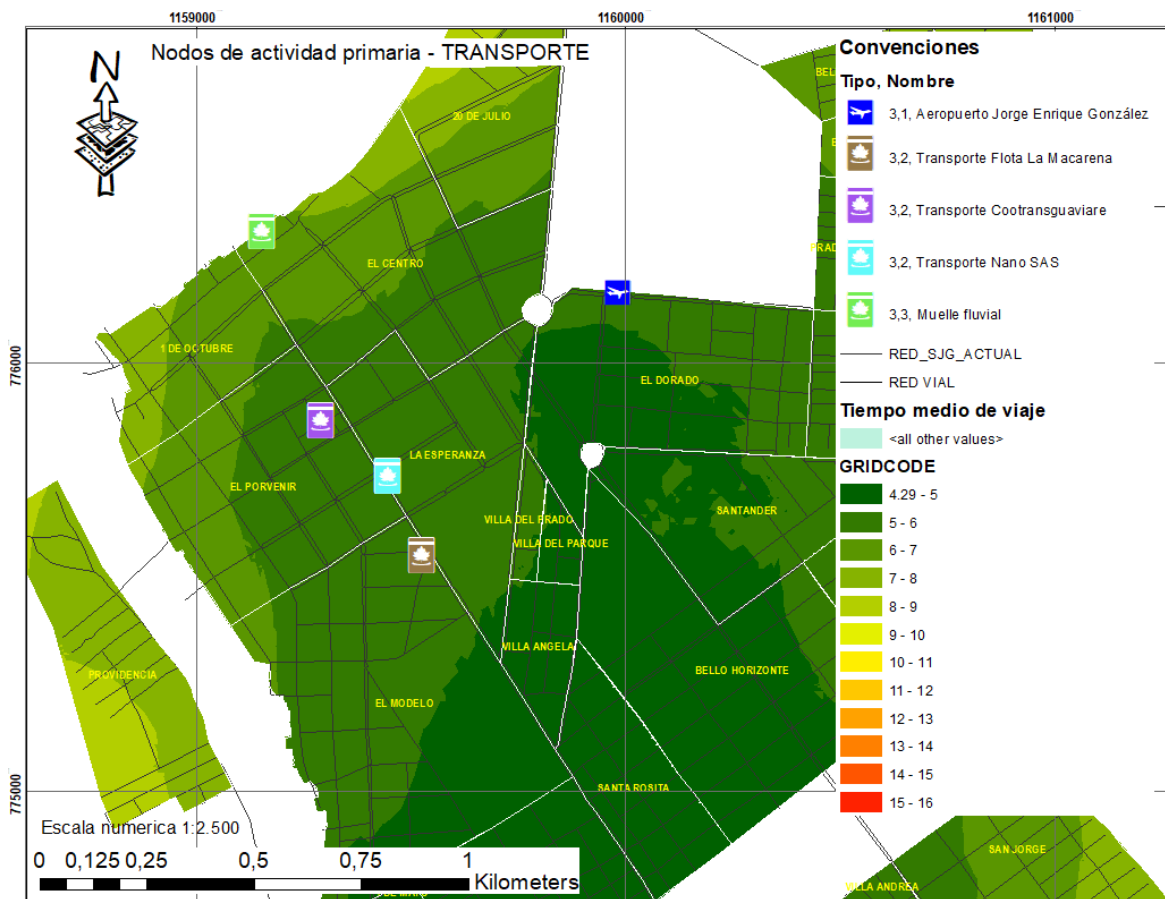
Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

**Tabla 4-14:** Cobertura de nodos de actividad primaria, transporte.

Tipo de NAP	Id	Nombre	Curva Isócrona
Aéreo	32	Aeropuerto Jorge Enrique González	6
	33	Transporte Cootransguaviare	6
Terrestre	34	Transporte Flota La Macarena	6
	35	Transporte Nano SAS	6
Fluvial	36	Muelle fluvial	7

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-30:** Mapa de cobertura de nodos de actividad primaria, transporte.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

El municipio de San José del Guaviare cuenta con el aeropuerto Jorge Enrique González, categoría tipo C, un muelle fluvial en la zona próxima al río Guaviare y cuenta con empresas privadas de transporte terrestre, no tiene terminal de transporte terrestre unificado y tampoco cuenta con sistema de transporte público colectivo urbano.

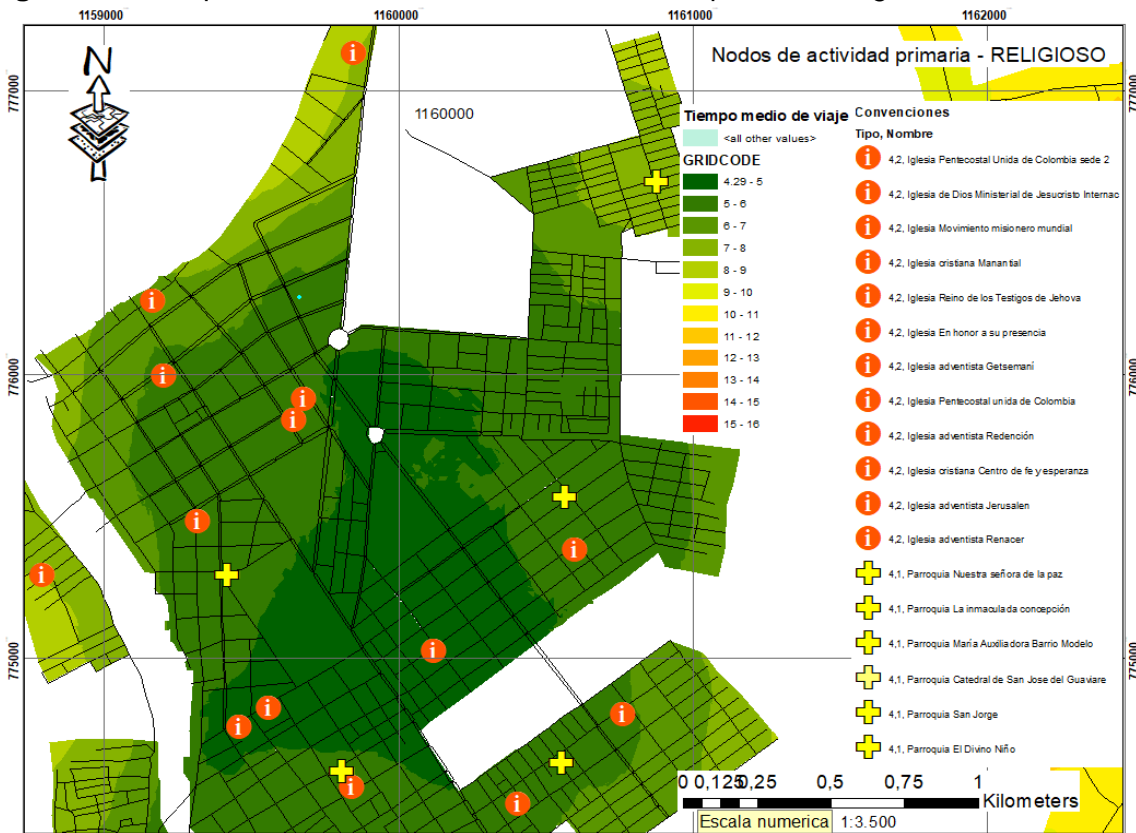
Jhon Jairo Romero Vaca.

**Tabla 4-15:** Cobertura de nodos de actividad primaria, religioso.

Tipo de NAP	Id	Nombre	Curva Isócrona
Católico	37	Catedral de San José del Guaviare	6
	38	Parroquia El Divino Niño	6
	39	Parroquia La inmaculada concepción	6
	40	Parroquia María Auxiliadora Barrio Modelo	6
	41	Parroquia San Jorge	6
	42	Parroquia Nuestra señora de la paz	8
Iglesia cristiana	43	Iglesia de Dios Ministerial de Jesucristo Int.	5
	44	Iglesia Pentecostal Unida de Colombia - 2	5
	45	Iglesia Reino de los Testigos de Jehová	5
	46	Iglesia adventista Jerusalén	6
	47	Iglesia adventista Renacer	6
	48	Iglesia cristiana Centro de fe y esperanza	6
	49	Iglesia cristiana Manantial	6
	50	Iglesia En honor a su presencia	6
	51	Iglesia Movimiento misionero mundial	6
	52	Iglesia Movimiento misionero mundial	6
	53	Iglesia Pentecostal unida de Colombia	6
	54	Iglesia de Dios Ministerial de Jesucristo Int.	7
	55	Iglesia adventista Getsemaní	8
	56	Iglesia adventista redención	9

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-31:** Mapa de cobertura de nodos de actividad primaria, religioso.



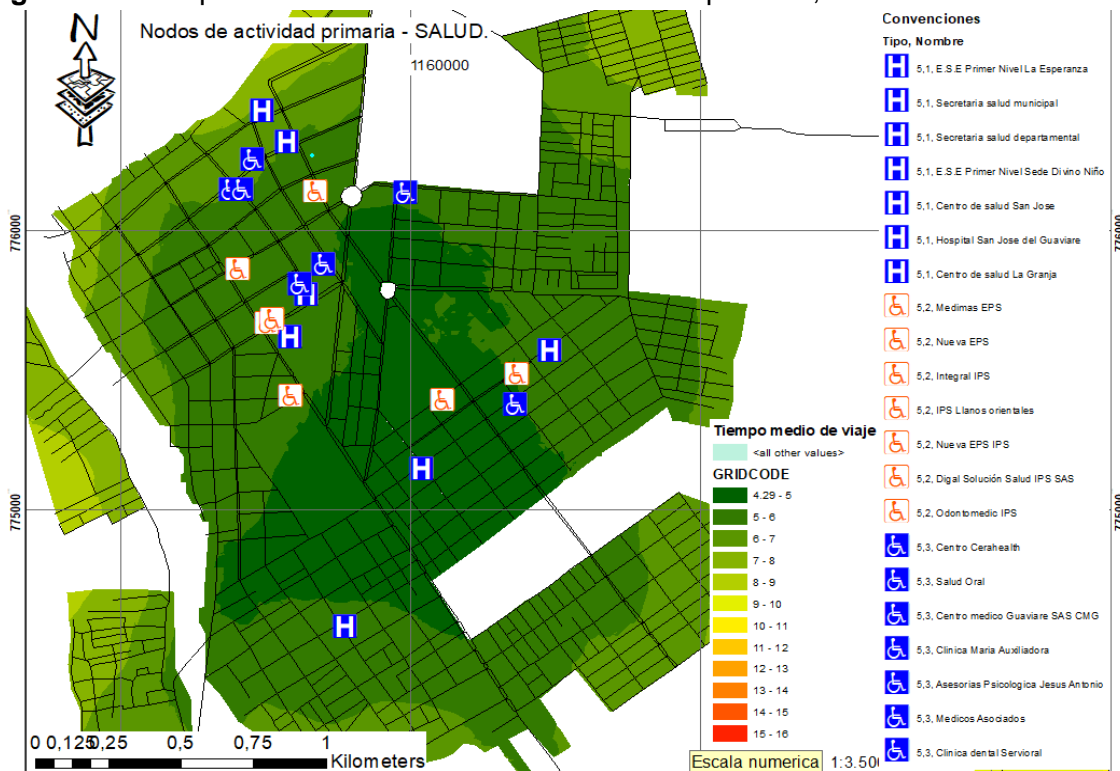
Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

**Tabla 4-16:** Cobertura de nodos de actividad primaria, salud.

Tipo de NAP	Id	Nombre	Curva Isócrona
Pública	57	Centro de salud San José	5
	58	Centro de salud La Granja	6
	59	E.S.E Primer Nivel La Esperanza	6
	60	E.S.E Primer Nivel Sede Divino Niño	6
	61	Hospital San José del Guaviare	6
	62	Secretaria salud municipal	6
	63	Secretaria salud departamental	7
IPS y EPS	64	Nueva EPS	5
	65	Digal Solución Salud IPS SAS	6
	66	Integral IPS	6
	67	IPS Llanos orientales	6
	68	Medimas EPS	6
	69	Nueva EPS IPS	6
	70	Odontomedic IPS	6
Consultorios privados	71	Centro Cerahealth	5
	72	Asesorías Psicológica Jesús Antonio	6
	73	Centro médico Guaviare SAS CMG	6
	74	Médicos Asociados	6
	75	Clínica dental Servioral	7
	76	Clínica María Auxiliadora	7
	77	Salud Oral	7

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-32:** Mapa de cobertura de nodos de actividad primaria, salud.



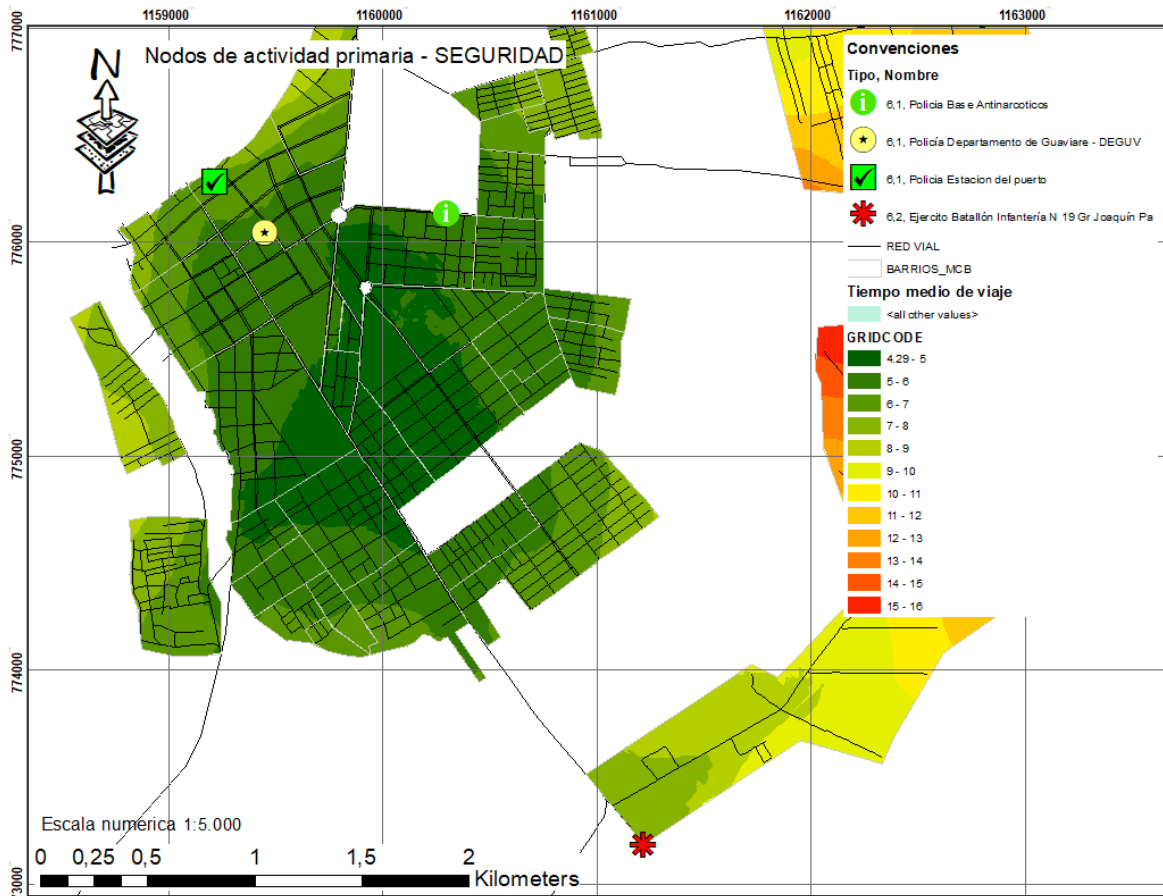
Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

**Tabla 4-17:** Cobertura de nodos de actividad primaria, Seguridad.

Tipo de NAP	Id	Nombre	Curva Isócrona
Policía	78	Policía Departamento de Guaviare - DEGUV	6
	79	Policía Base antinarcóticos	6
	80	Policía Estación del puerto	7
Ejercito	81	Ejercito Batallón Infantería N 19 Gr Joaquín Paris	8

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-33:** Mapa de cobertura de nodos de actividad primaria, seguridad.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

En la zona de estudio no existen los Comandos de atención inmediata (CAI) de la policía, sin embargo se georreferencian las sedes de la institución policial existente en conjunto con el batallón del ejercito N° 19, ubicado en la salida hacia el Retorno Guaviare.

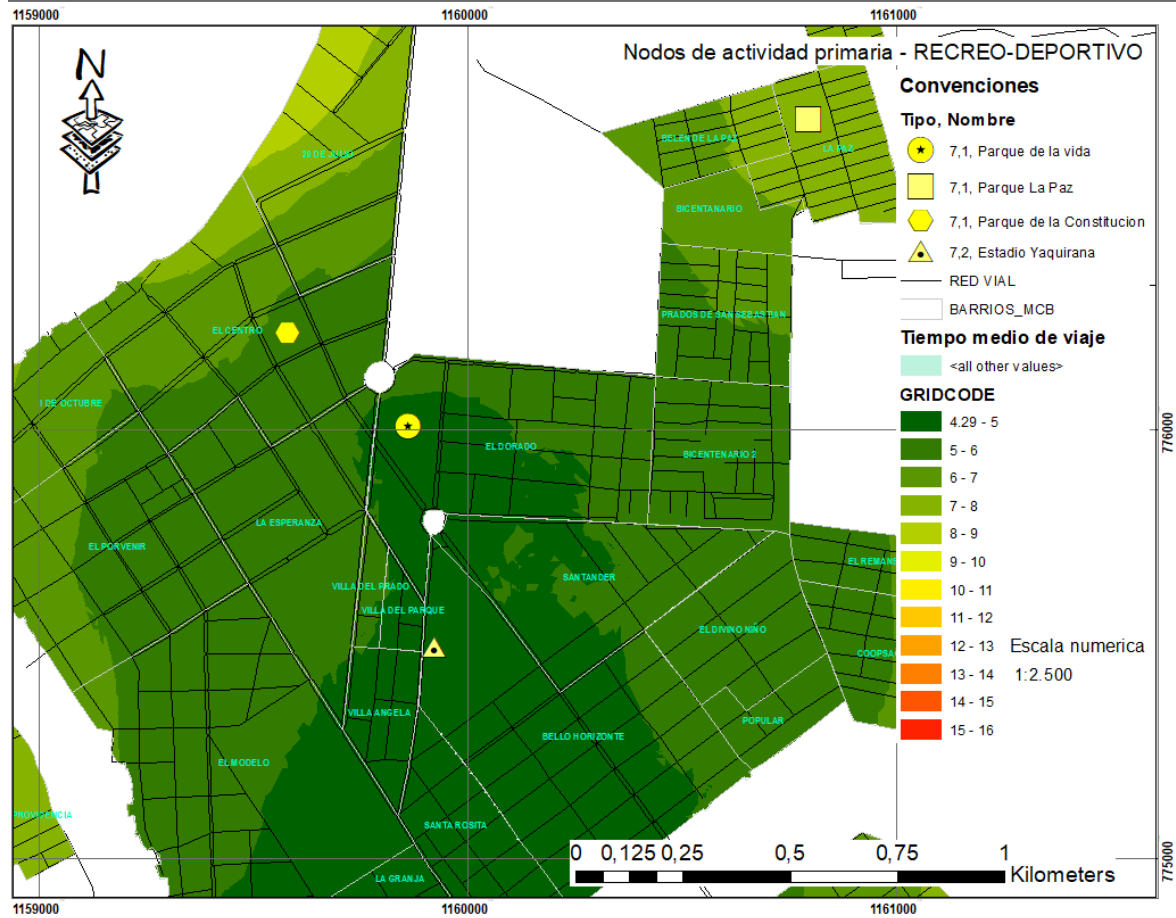


**Tabla 4-18:** Cobertura de nodos de actividad primaria, recreativo y deportivo.

Tipo de NAP	Id	Nombre	Curva Isócrona
Parques	82	Parque de la vida	5
	83	Parque de la Constitución	6
	84	Parque La Paz	8
Estadio	85	Estadio Yaquirana	5

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-34:** Mapa de cobertura de nodos de actividad primaria, recreativo y deportivo.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

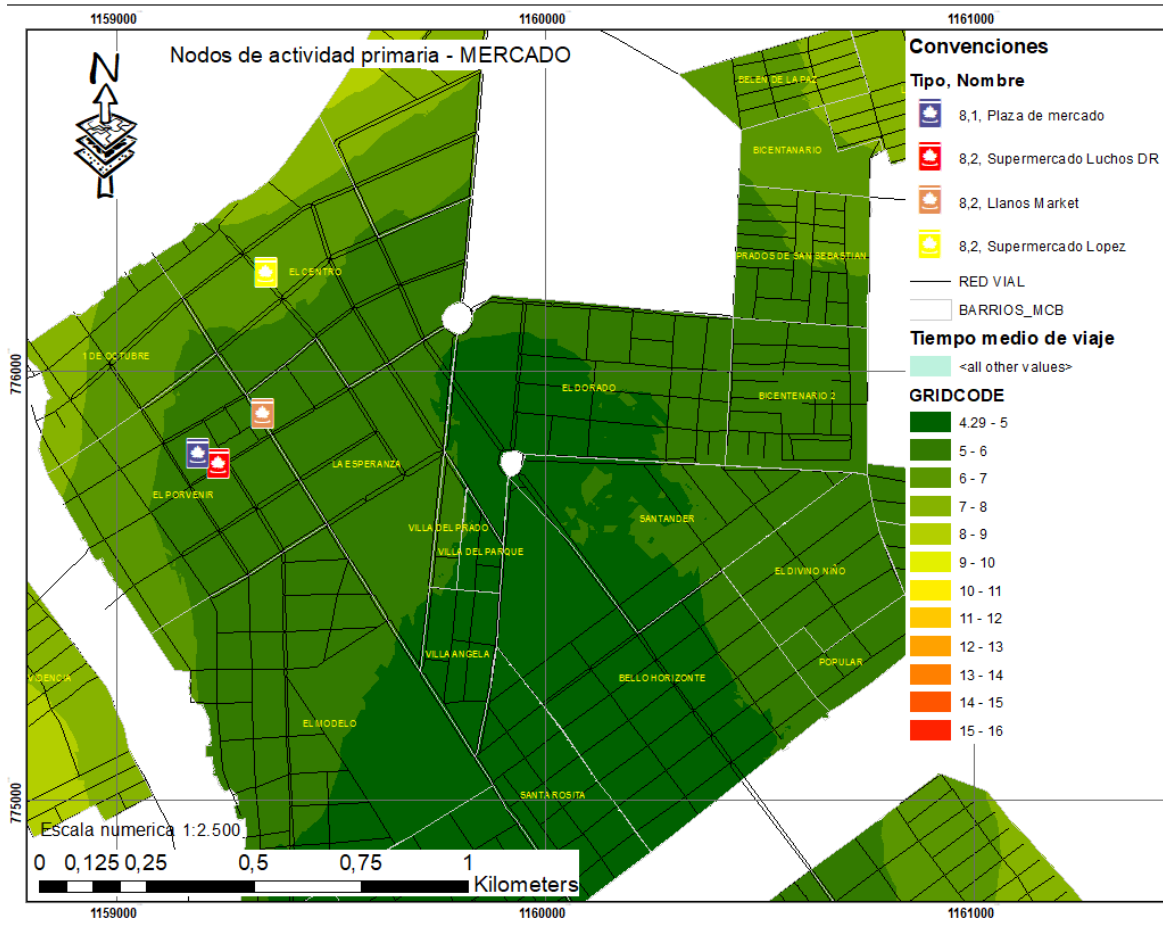
Los parques y estadios constituyen puntos atrayentes de viajes para realización de actividades recreo deportivas, es por esto que se identificaron todos los nodos de esta actividad primaria más representantes en el municipio, encontrándose poca oferta para la población ya que solo se tienen tres (3) parques principales ubicados según distribución de imagen anterior. Adicionalmente el municipio cuenta con un estadio menor para la realización de eventos masivos.

**Tabla 4-19:** Cobertura de nodos de actividad primaria, mercado.

Tipo de NAP	Id	Nombre.	Curva Isócrona.
Plaza	86	Plaza de mercado	6
	87	Llanos Market	6
Supermercado	88	Supermercado Luchos DR	6
	89	Supermercado López	7

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-35:** Mapa de cobertura de nodos de actividad primaria, mercado.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

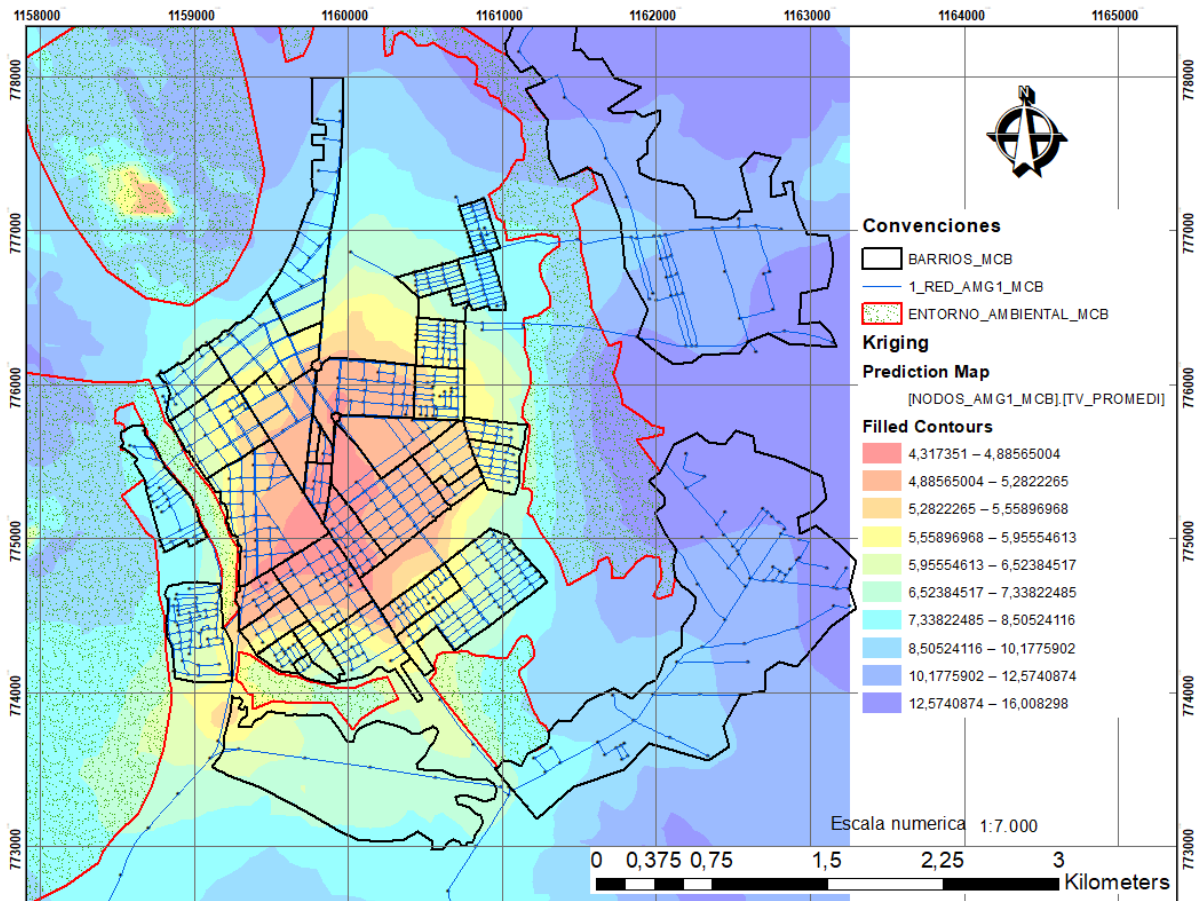
La plaza de mercado y supermercados más grandes del municipio se encuentran relativamente agrupados en los barrios El Porvenir y El Centro, en esta zona se configura el movimiento económico relacionado con el sector agro.



#### 4.5.1.1 Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas de la red - escenario futuro número uno (1).

La red está compuesta por 941 nodos y 1545 arcos, los cuales suman una longitud total (L) de 152.56 km en un rango de extensión lineal que va desde los 12.27 hasta 497.72 m, con promedio de 98.75 m y una desviación estándar de 74.67 m.

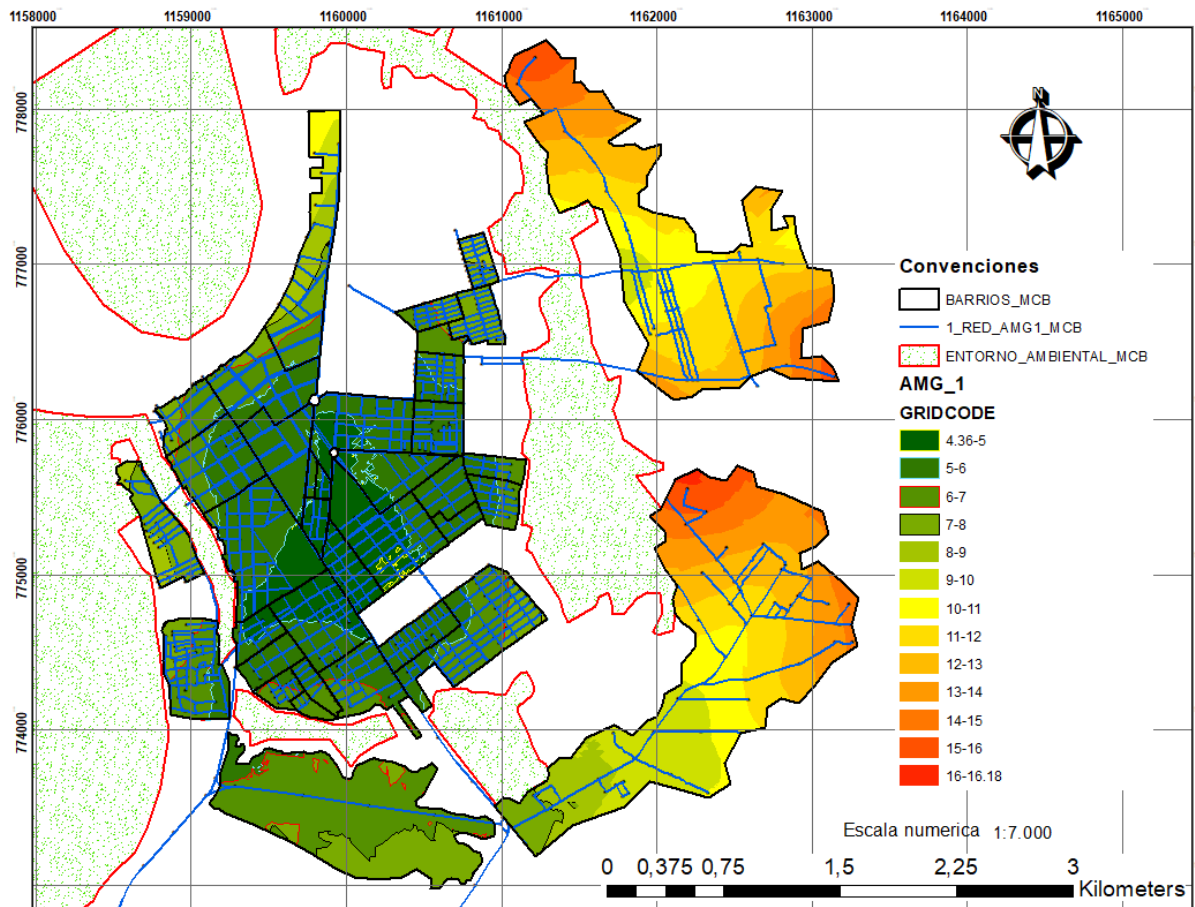
**Figura 4-37:** Resultado Kriging ordinario y predictivo, escenario futuro número uno (1).



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

De acuerdo con el procedimiento establecido por la metodología en los capítulos [3.1](#), [3.2](#) y [3.3](#), se obtuvo los resultados del cálculo de la accesibilidad media global según curvas isócronas.

**Figura 4-38:** Mapa de curvas isócronas de la accesibilidad media global según red vial escenario futuro número uno (1).



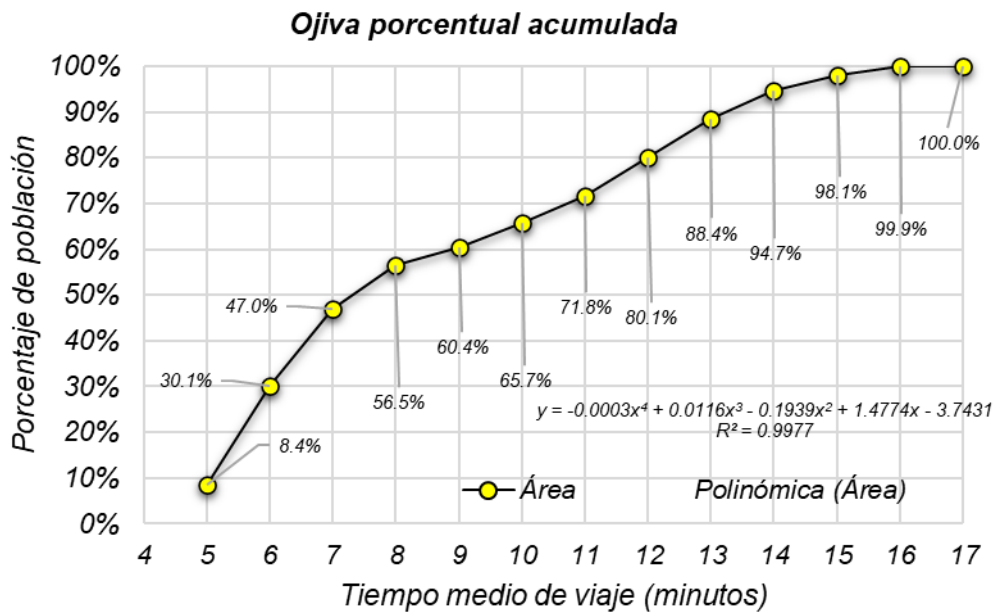
*Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.*

La adición de infraestructura vial a la red existente generó buenos resultados para las nuevas áreas que se desarrollaran en el escenario uno (1) con curvas isócronas de 8 y 9 minutos, ahora bien para la red existente se tiene buena cobertura en el polígono urbano principal teniendo presente que para las zonas de expansión urbana de Villa Alejandra el comportamiento de los tiempos de viaje se ve castigado por desplazamientos más largos producidos por encontrarse en zonas más distantes.

**Tabla 4-21:** Porcentaje de área cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número uno (1).

Curva isócrona	Rango	Área cubierta (ha.)	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
5	(4.29 - 5)	81.37	8.37%	8.37%
6	(5 - 6)	211.52	21.77%	30.14%
7	(6 - 7)	163.65	16.84%	46.98%
8	(7 - 8)	92.91	9.56%	56.54%
9	(8 - 9)	37.90	3.90%	60.44%
10	(9 - 10)	50.72	5.22%	65.66%
11	(10 - 11)	59.34	6.11%	71.77%
12	(11 - 12)	80.67	8.30%	80.07%
13	(12 - 13)	81.09	8.34%	88.41%
14	(13 - 14)	60.82	6.26%	94.67%
15	(14 - 15)	33.56	3.45%	98.13%
16	(15 - 16)	17.15	1.76%	99.89%
17	(16 - 16.2)	1.07	0.11%	100.00%
Total general		971.77	100%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-39:** Ojiva porcentual acumulada de área cubierta para la red escenario futuro número uno (1).

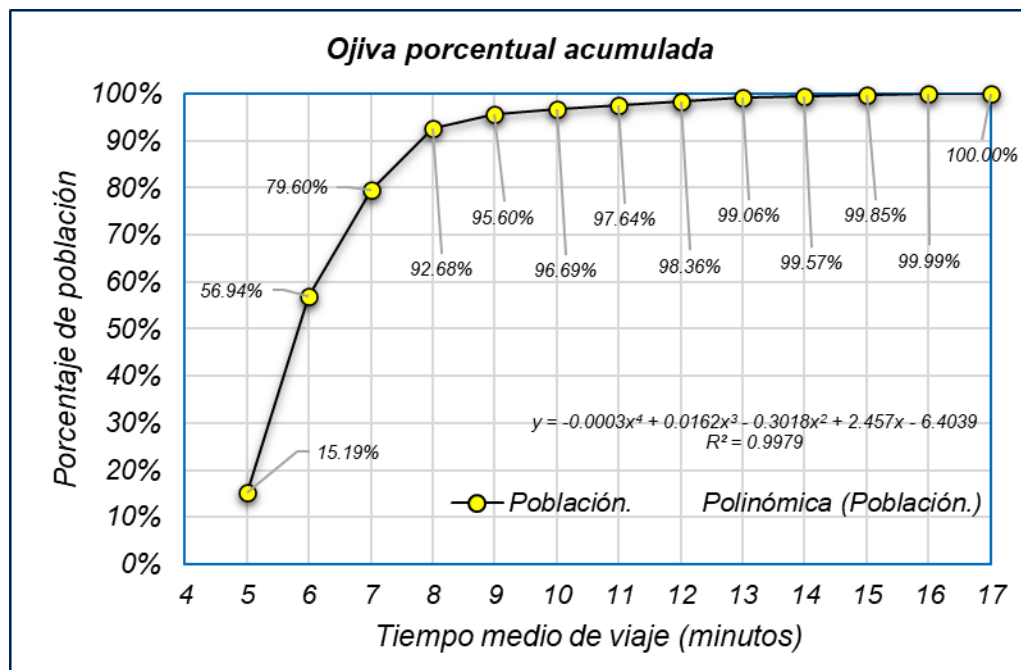
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-22:** Porcentaje de población total cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número uno (1).

Curva isócrona	Rango (min)	Población cubierta (hab.)	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
5	(4.29 - 5)	5513	15.19%	15.19%
6	(5 - 6)	15149	41.74%	56.94%
7	(6 - 7)	8225	22.66%	79.60%
8	(7 - 8)	4748	13.08%	92.68%
9	(8 - 9)	1060	2.92%	95.60%
10	(9 - 10)	395	1.09%	96.69%
11	(10 - 11)	343	0.95%	97.64%
12	(11 - 12)	261	0.72%	98.36%
13	(12 - 13)	256	0.71%	99.06%
14	(13 - 14)	183	0.50%	99.57%
15	(14 - 15)	102	0.28%	99.85%
16	(15 - 16)	52	0.14%	99.99%
17	(16 - 16.2)	3	0.01%	100.00%
<b>Total general</b>		36290	100%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-40:** Ojiva porcentual acumulada de población cubierta para la red escenario futuro número uno (1).

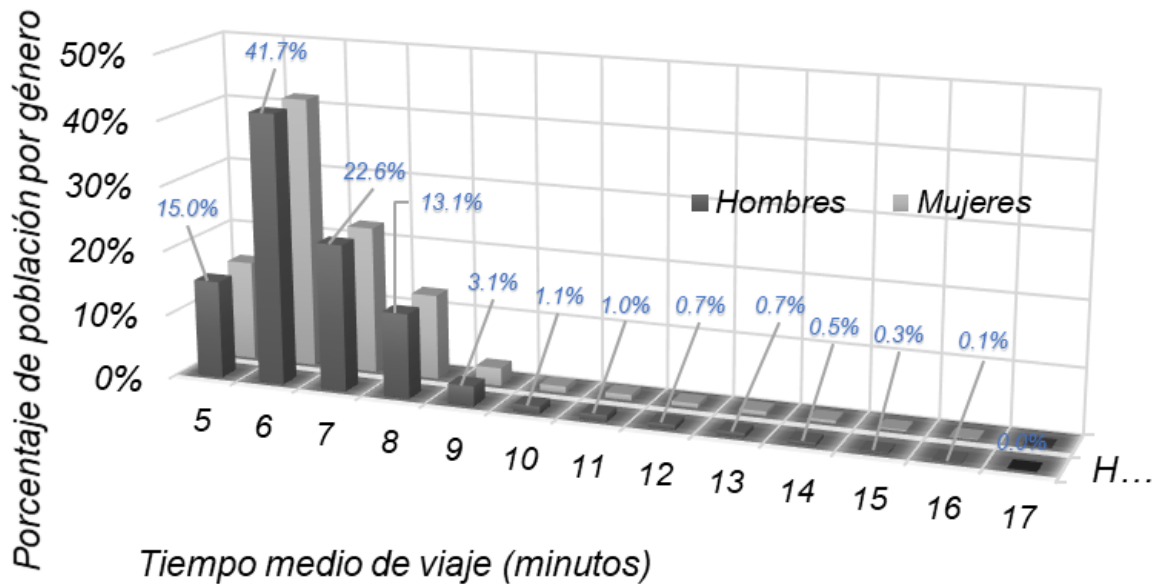


Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-23:** Porcentaje de población por género cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número uno (1).

Curva isócrona	Rango (min)	Suma de Hombres	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)	Suma de Mujeres	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
5	(4.29-5)	2661	15.02%	15.02%	2852	15.36%	15.36%
6	(5 - 6)	7386	41.68%	56.69%	7763	41.81%	57.17%
7	(6 - 7)	4012	22.64%	79.33%	4213	22.69%	79.86%
8	(7 - 8)	2315	13.06%	92.39%	2433	13.10%	92.96%
9	(8 - 9)	543	3.06%	95.46%	517	2.78%	95.75%
10	(9 - 10)	202	1.14%	96.60%	193	1.04%	96.78%
11	(10-11)	175	0.99%	97.58%	168	0.90%	97.69%
12	(11-12)	131	0.74%	98.32%	130	0.70%	98.39%
13	(12-13)	128	0.72%	99.05%	128	0.69%	99.08%
14	(13-14)	91	0.51%	99.56%	92	0.50%	99.57%
15	(14-15)	51	0.29%	99.85%	51	0.27%	99.85%
16	(15-16)	26	0.15%	99.99%	26	0.14%	99.99%
17	(16-16.2)	1	0.01%	100.00%	2	0.01%	100.00%
<b>Total general</b>	<b>36290</b>	<b>17722</b>	<b>100%</b>		<b>18568</b>	<b>100%</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-41:** Porcentaje de población cubierta por género en la red escenario futuro número uno (1).

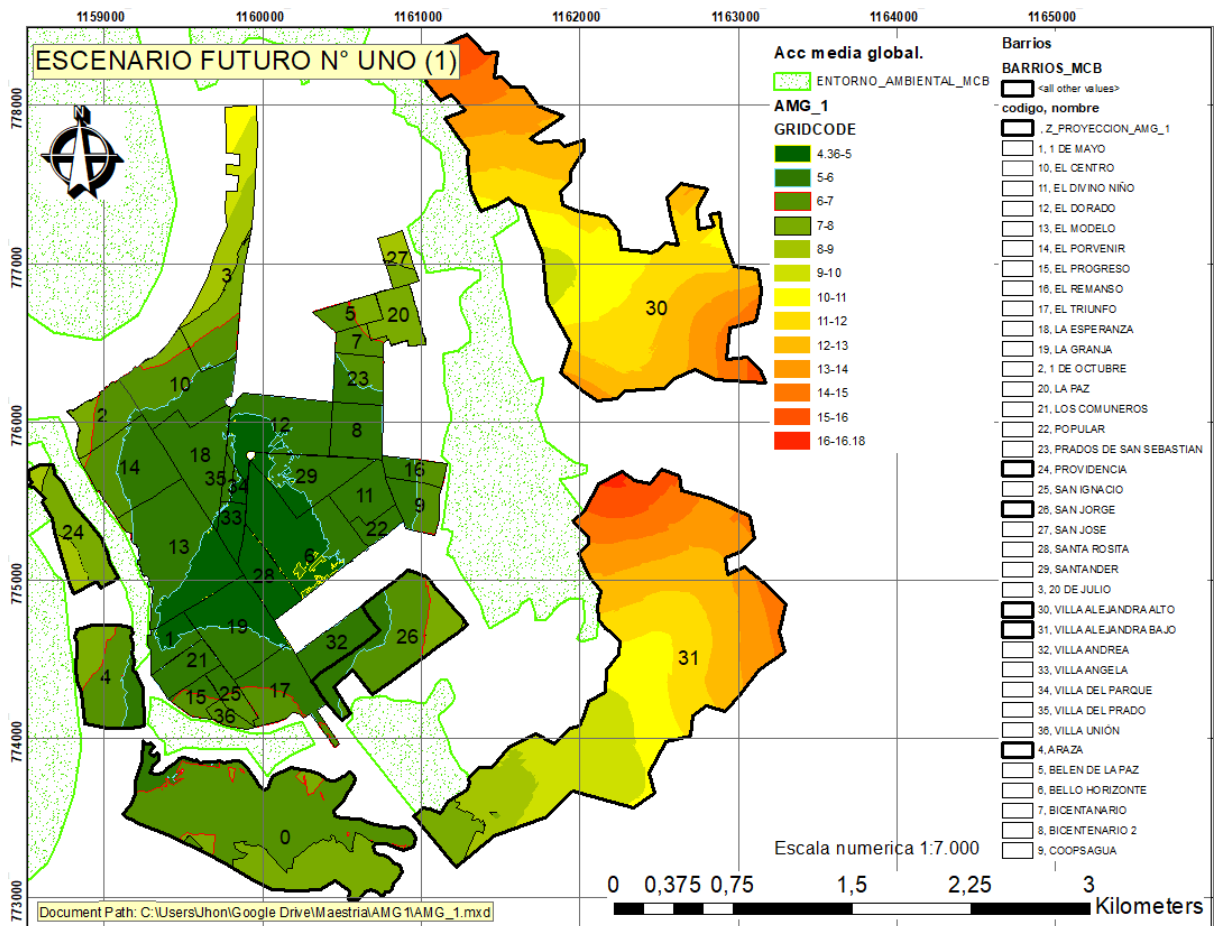
Fuente: Elaboración propia.



4.5.1.2 Curvas isócronas en relación con la variable geográfica de barrios, escenario futuro número uno (1).

De acuerdo con el procedimiento descrito en el capítulo 3.4.1 se realiza una intersección entre la información del polígono de las curvas isócronas de accesibilidad y el polígono de barrios para generar la cobertura de las curvas con la población de los diferentes barrios.

Figura 4-42: Mapa de análisis de cobertura espacial por barrios, escenario futuro número uno (1).



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

El barrio Villa Angela presenta la mejor accesibilidad mientras que Villa Alejandra Bajo y Alto tienen las mayores curvas isócronas, aunque su densidad poblacional es baja respecto a los demás barrios. La curva de hasta 6 minutos cubre el 31% de los barrios, la de 7 cubre el 64%, la de 8 el 83%, la de 9 el 94% y la de 16 el 100%. Ver tabla siguiente.

**Tabla 4-24:** Relación de barrios por curva isócrona promedio, población y densidad poblacional, escenario futuro número uno (1).

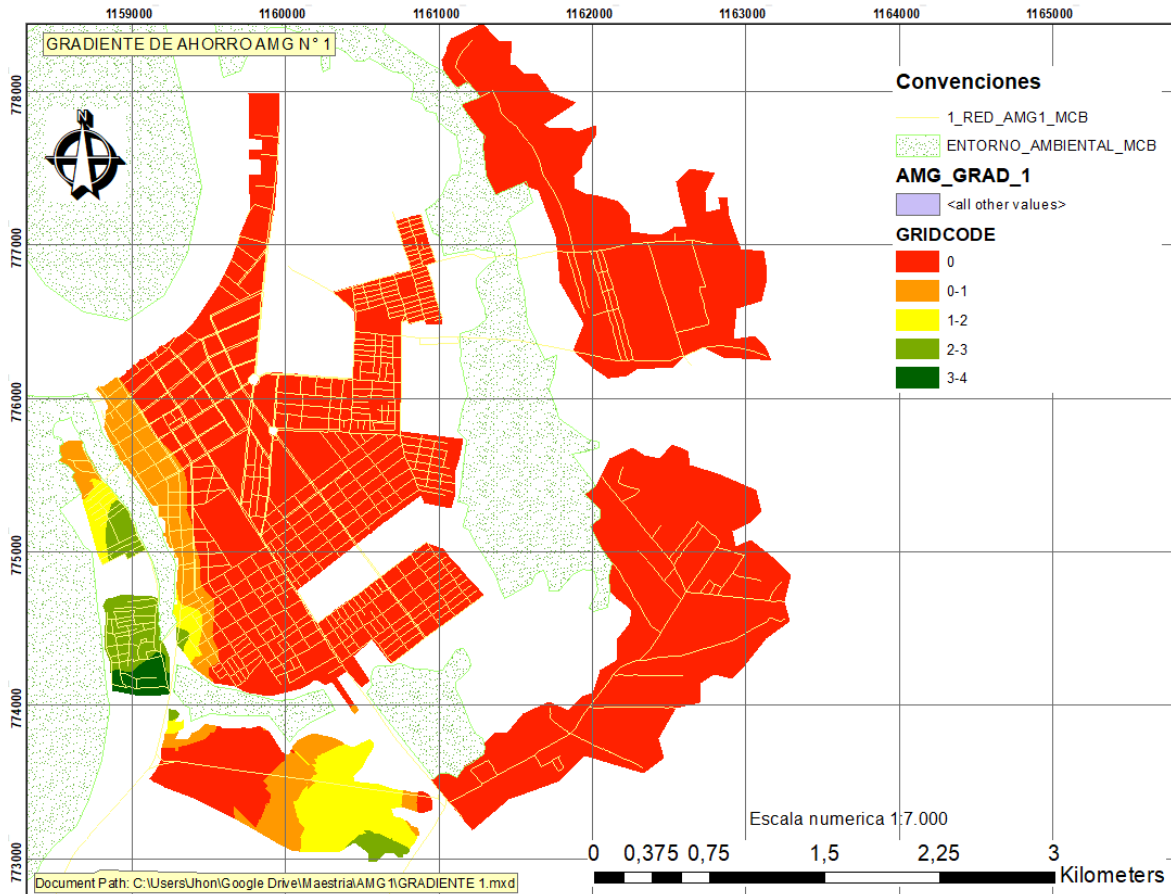
<b>Barrio.</b>	<b>Promedio general de tiempo de viaje (min).</b>	<b>Población (hab)</b>	<b>Densidad poblacional (Hab / ha)</b>
Villa Angela	5.20	270	55.33
Santa Rosita	5.20	687	64.90
Santander	5.29	740	44.59
La Esperanza	5.33	811	41.95
El Dorado	5.37	1276	53.27
La Granja	5.38	2041	88.63
Villa del Prado	5.50	57	33.07
Villa del Parque	5.57	35	19.92
1 de mayo	5.67	591	83.37
El Modelo	5.78	2625	67.98
Bello Horizonte	5.80	2206	70.47
Popular	6.00	436	107.24
El Triunfo	6.00	1063	59.59
El Divino Niño	6.00	843	84.90
Villa Andrea	6.00	1111	107.83
Bicentenario 2	6.00	1003	90.49
Los Comuneros	6.00	512	66.14
El Remanso	6.33	704	127.31
Coopsagua	6.40	628	74.81
San Ignacio	6.50	393	81.18
Prados de San Sebastián	6.50	973	101.30
El Progreso	6.50	440	90.08
El Porvenir	6.86	2556	113.69
Villa Unión	7.00	135	52.80
Z_Proyeccion_Amg_1	7.12	0	0.00
1 De octubre	7.20	843	74.19
San Jorge	7.21	3961	112.90
El Centro	7.25	635	25.24
Bicentenario	7.50	187	40.15
Arazá	7.71	2193	91.27
Belén de La Paz	7.75	644	107.61
20 de Julio	8.16	1655	46.62
La Paz	8.40	1540	165.69
San José	8.50	279	50.15
Providencia	8.75	996	56.07
Villa Alejandra Bajo	11.40	558	3.20
Villa Alejandra Alto	12.54	663	3.43

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.1.3 Cálculo de gradiente de ahorro escenario futuro número uno (1).

Con el objetivo de conocer el impacto que tiene la adición de infraestructura vial en el escenario futuro número uno respecto al escenario actual, en la siguiente figura se puede apreciar las curvas isócronas con el porcentaje de ahorro obtenido.

**Figura 4-43:** Cálculo de gradiente de ahorro escenario futuro número uno (1).



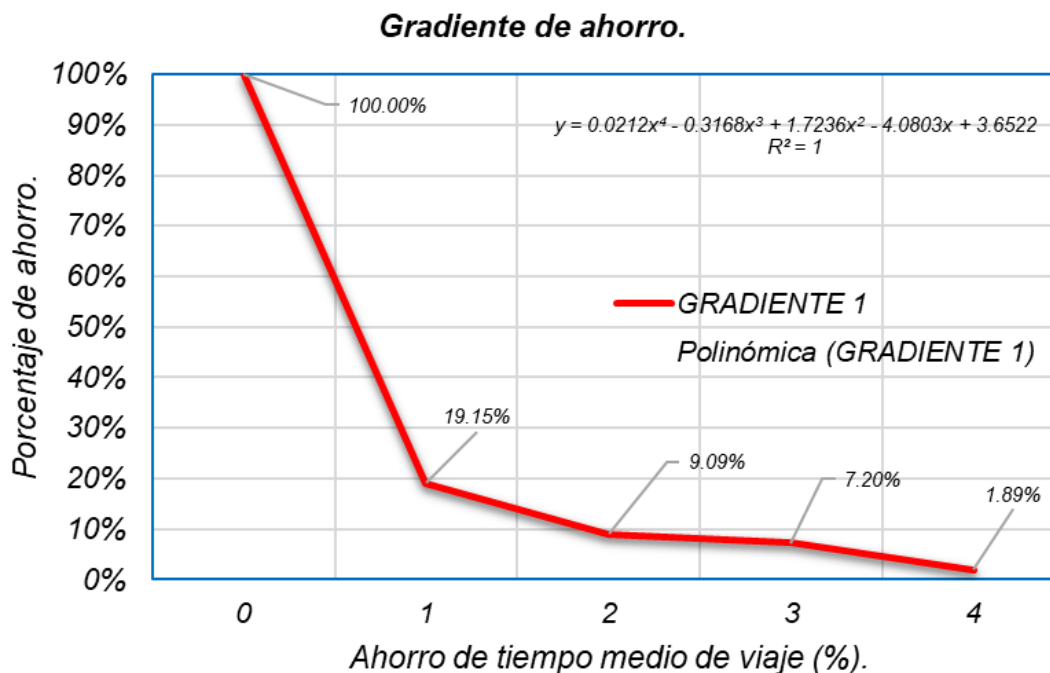
Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

El resultado arrojado para el escenario uno (1) no presenta mejora significativa en la accesibilidad territorial porque la propuesta vial está en la periferia del área urbana provocando el aumento de la sumatoria de los tiempos de viaje y por ende su promedio además de que no conecta áreas pobladas, sin embargo su principal objetivo consiste en ser eje de desarrollo para la expansión planificada del municipio respetando las condicionantes ambientales que este tiene.

**Tabla 4-25:** Porcentaje gradiente de ahorro respecto a población total, escenario uno (1).

<b>Curva</b>	<b>Rango de ahorro (%)</b>	<b>Población (hab.)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Población total (%)</b>
<b>0</b>	0	29339	80.85%	100.00%
<b>1</b>	(0 - 1)	3653	10.07%	19.15%
<b>2</b>	(1 - 2)	685	1.89%	9.09%
<b>3</b>	(2 - 3)	1927	5.31%	7.20%
<b>4</b>	(3 - 4)	686	1.89%	1.89%
<b>Total general</b>		36290	100%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-44:** Relación porcentual de gradiente de ahorro respecto a la población total, escenario uno (1).

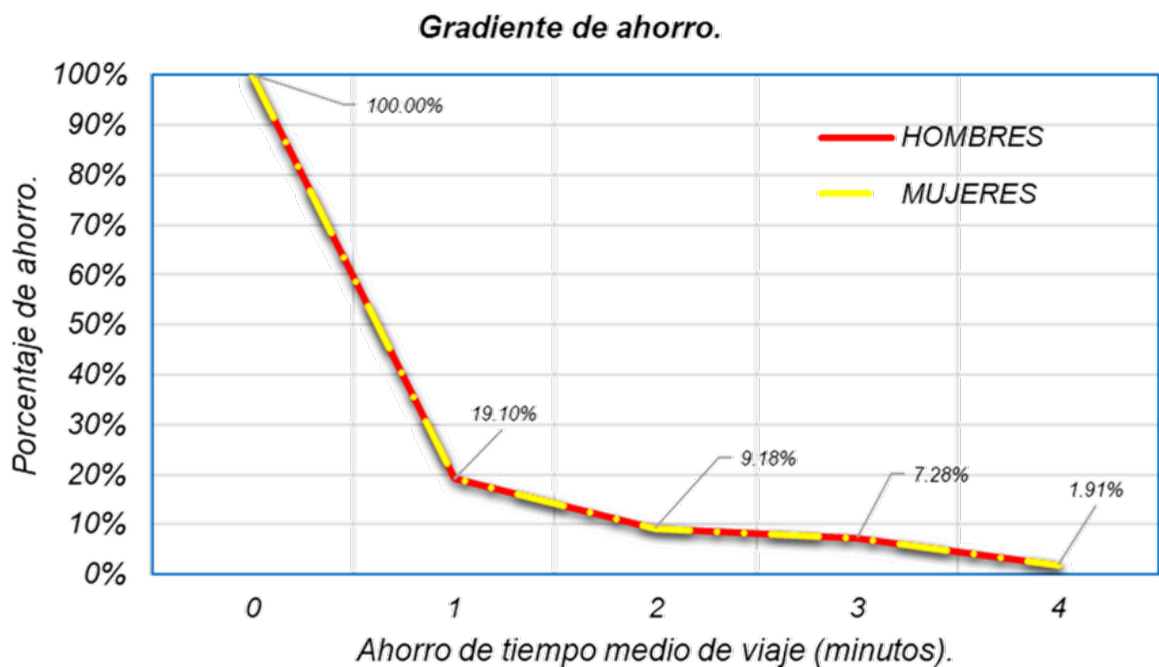
Fuente: Elaboración propia.

El 19.15% de la población presentó un porcentaje de gradiente de ahorro de por lo menos el 1%, mientras que el 9.09% tuvo por lo menos ahorro en el 2%, el 7.2% del 3% y el 1.89% de los habitantes llegó a tener ahorro hasta del 4%, cabe anotar que los resultados son acordes al tipo de intervención que se hace en una zona periférica, alejada de la malla vial urbana.

**Tabla 4-26:** Porcentaje gradiente de ahorro respecto a población por género, escenario uno (1).

Curva	Rango ahorro (%)	Suma de Hombres	Porcentaje (%)	Población hombres (%)	Suma de Mujeres	Porcentaje (%)	Población hombres (%)
0	0	14338	80.90%	100%	15002	80.79%	100%
1	(0 - 1)	1758	9.92%	19.10%	1895	10.21%	19.21%
2	(1 - 2)	337	1.90%	9.18%	348	1.87%	9.00%
3	(2 - 3)	950	5.36%	7.28%	977	5.26%	7.13%
4	(3 - 4)	339	1.91%	1.91%	346	1.87%	1.87%
<b>Total general</b>		36290	100%		18568	100%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-45:** Relación porcentual de gradiente de ahorro respecto a la población por género, escenario uno (1).

Fuente: Elaboración propia.

Los datos porcentuales de gradiente de ahorro para la población clasificada por género presentan un comportamiento bastante similar debido a la paridad poblacional.

#### 4.5.2 Accesibilidad media global y gradiente de ahorro para escenario futuro número dos (2).

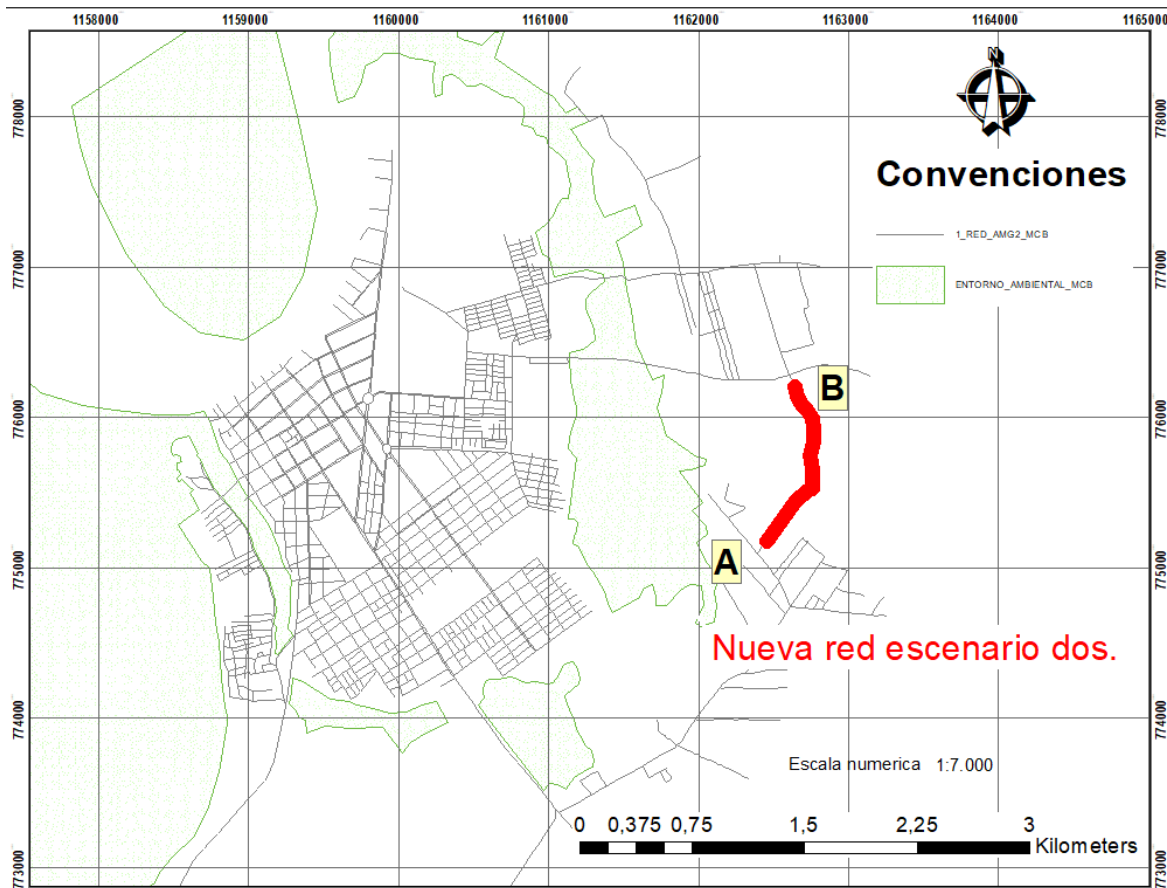
Según procedimiento descrito en el capítulo 3.3 se desarrolló los cálculos de accesibilidad media global para el segundo escenario propuesto como medida de intervención en la infraestructura vial, el cual consta de la conexión vial entre las siguientes coordenadas del sector de Villa Alejandra.

**Tabla 4-27:** Coordenadas planas de los puntos de conexión del escenario dos (2).

Tramo	Punto de conexión	Coordenada X	Coordenada Y
2	A	1162451,42	775172,43
	B	1162651,92	776212,97

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-46:** Mapa de detalle de ubicación, escenario dos.



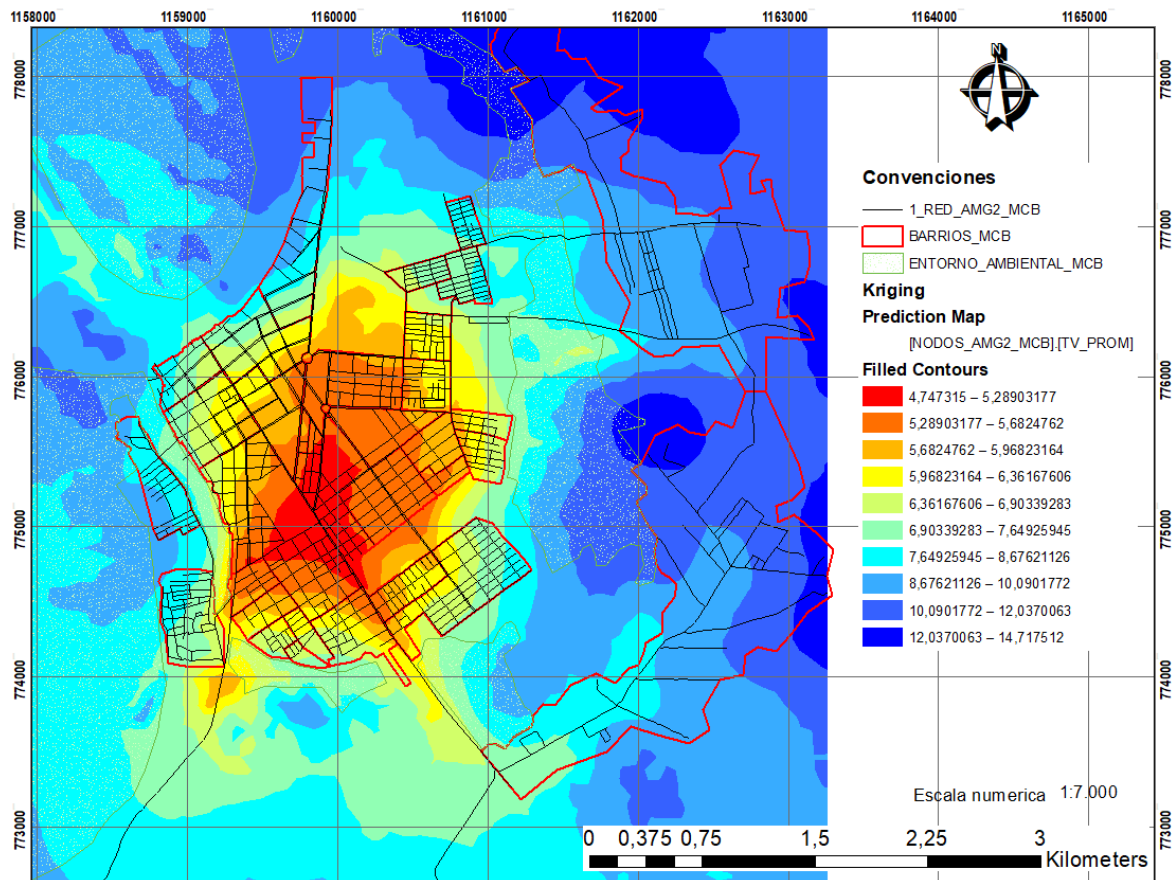
Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

#### 4.5.2.1 Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas de la red - escenario futuro número dos (2).

La red está compuesta por 1087 nodos y 1668 arcos, los cuales suman una longitud total (L) de 153.647,68 m en un rango de extensión lineal que va desde los 12.27 hasta 401.21 m, con promedio de 90.92 m y una desviación estándar de 50.89 m.

Como resultado del trabajo desarrollado en la Sección [3.3.3](#), se creó un mapa de predictivo basado en el tiempo promedio de viaje, que muestra su comportamiento en tiempo real y comprende las restricciones de ubicación y uso.

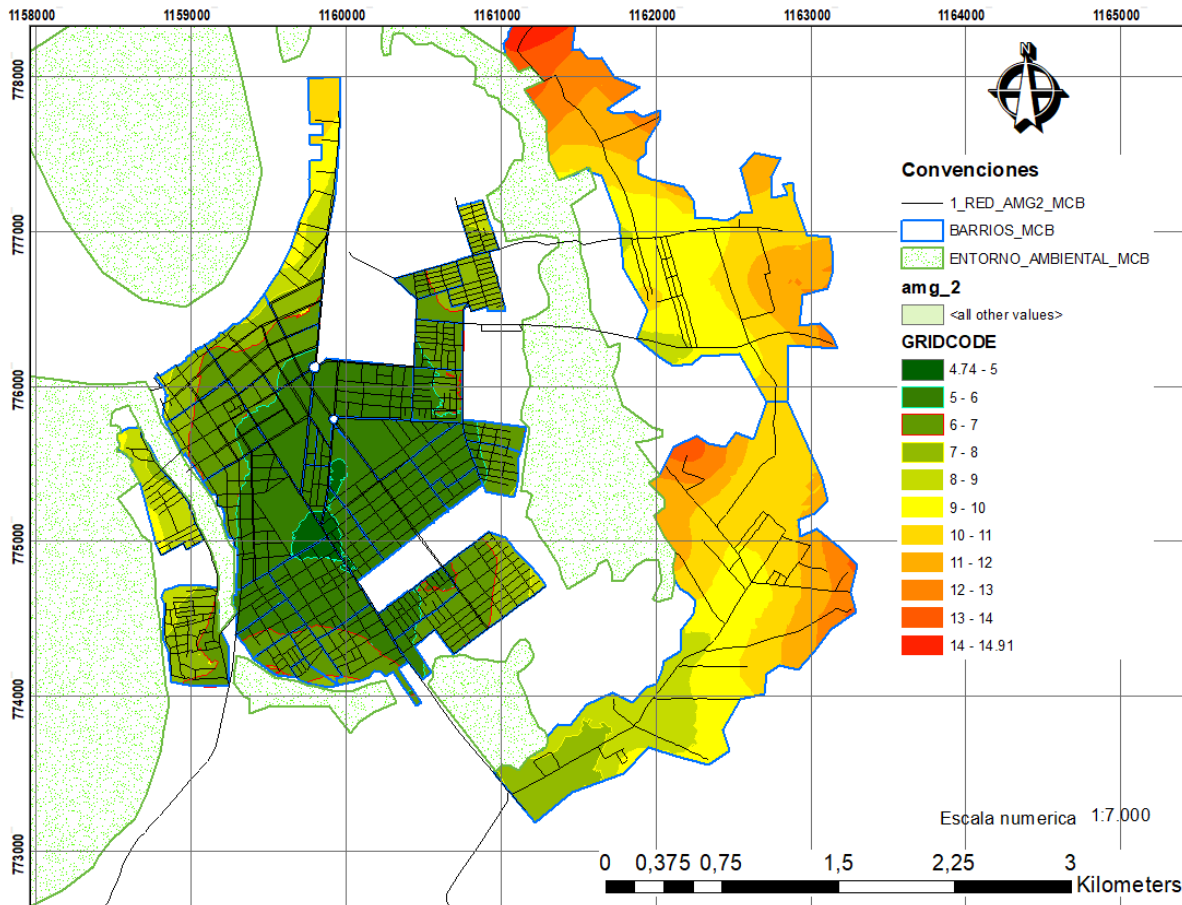
**Figura 4-47:** Resultado Kriging ordinario y predictivo, escenario futuro número dos (2).



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

De acuerdo con el procedimiento establecido por la metodología en los capítulos [3-1](#), [3-2](#), y [3-3](#), se obtuvo los resultados del cálculo de la accesibilidad media global según curvas isócronas.

**Figura 4-48:** Mapa de curvas isócronas de la accesibilidad media global según red vial escenario futuro número dos (2).



*Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.*

Los resultados de accesibilidad media global de este escenario propuesto en comparación con los obtenidos en la situación actual presentan una notable mejoría en el sector oriental del municipio, beneficiando en gran medida a los habitantes de los sectores de Villa Alejandra Alto y Bajo, mientras que en el polígono urbano principal no se observan cambios significativos. La conveniencia de esta propuesta radica en configurar un anillo vial mediante la conexión entre dos sectores incomunicados por vía terrestre y que se encuentran muy próximos geográficamente, esto permitirá desplazamientos más cortos cuando los habitantes del sector de Villa Alejandra bajo deseen realizar un viaje a la zona norte del municipio y en medida proporcional cuando los habitantes del sector de Villa Alejandra alto deseen realizar un viaje a la zona sur del municipio.

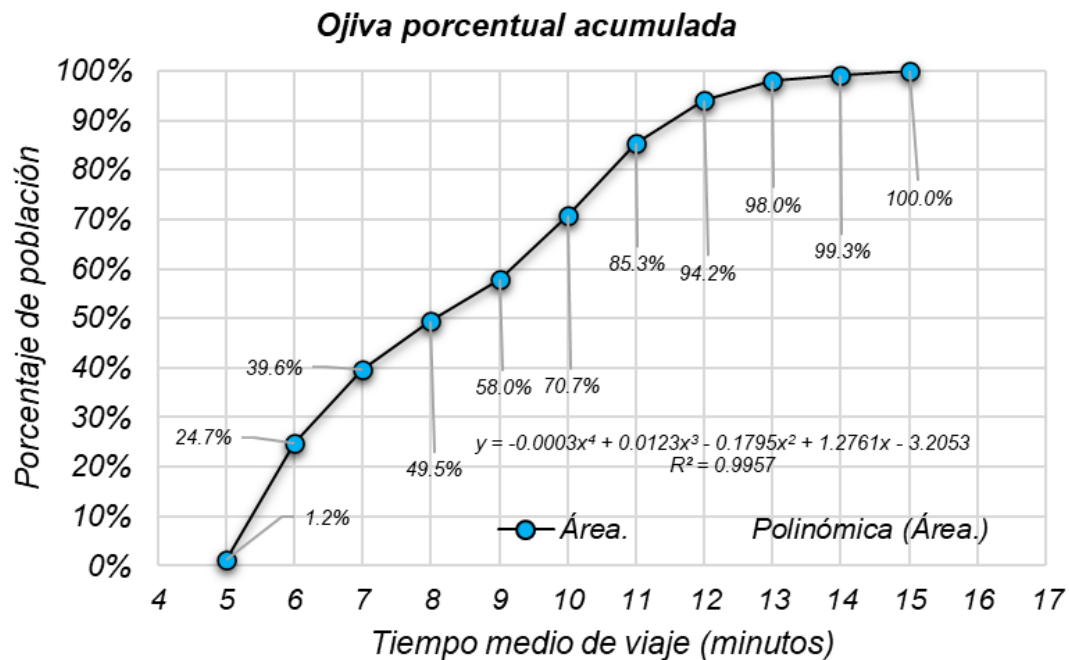


**Tabla 4-28:** Porcentaje de área cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número dos (2).

<b>Curva isócrona</b>	<b>Rango (min)</b>	<b>Área cubierta (ha.)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Porcentaje acumulado (%)</b>
5	(4.74 - 5)	10.89	1.22%	1.22%
6	(5 - 6)	210.60	23.51%	24.72%
7	(6 - 7)	133.41	14.89%	39.61%
8	(7 - 8)	88.72	9.90%	49.52%
9	(8 - 9)	75.94	8.48%	58.00%
10	(9 - 10)	113.88	12.71%	70.71%
11	(10 - 11)	130.97	14.62%	85.33%
12	(11 - 12)	79.22	8.84%	94.17%
13	(12 - 13)	33.97	3.79%	97.96%
14	(13 - 14)	11.59	1.29%	99.25%
15	(14-14.91)	6.68	0.75%	100.00%
<b>Total general</b>		896	100%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-49:** Ojiva porcentual acumulada de área cubierta para la red escenario futuro número dos (2).



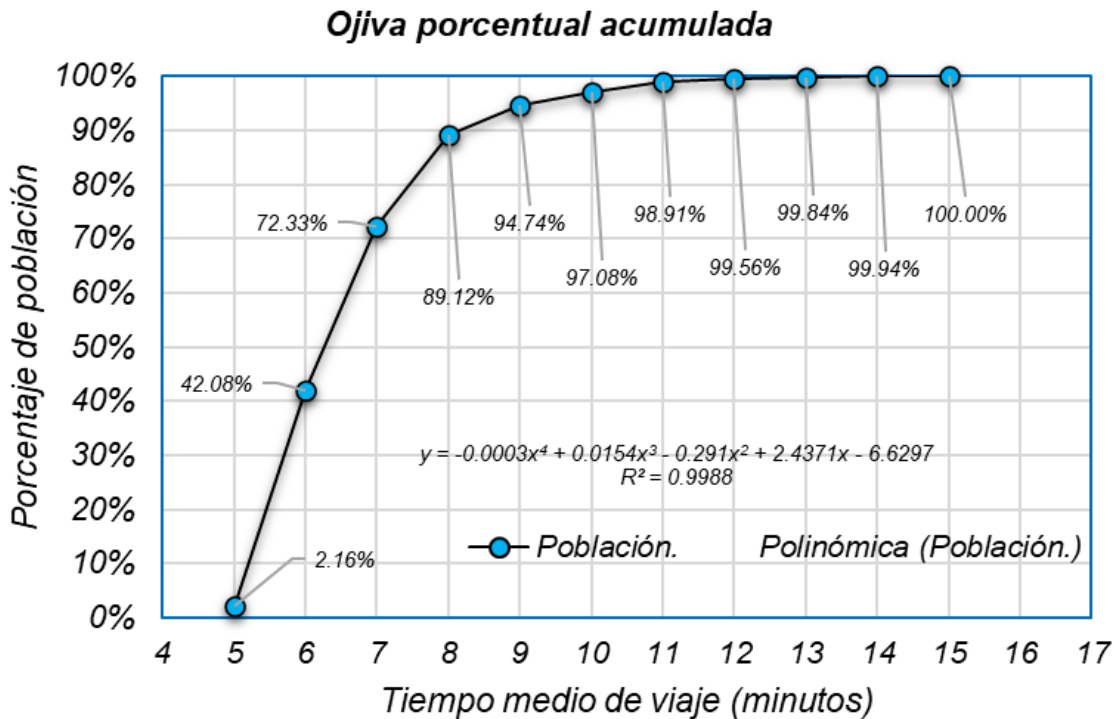
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-29:** Porcentaje de población total cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número dos (2).

<b>Curva isócrona</b>	<b>Rango (min)</b>	<b>Población cubierta (hab.)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Porcentaje acumulado (%)</b>
5	(4.74 - 5)	784	2.16%	2.16%
6	(5 - 6)	14486	39.92%	42.08%
7	(6 - 7)	10978	30.25%	72.33%
8	(7 - 8)	6093	16.79%	89.12%
9	(8 - 9)	2039	5.62%	94.74%
10	(9 - 10)	852	2.35%	97.08%
11	(10 - 11)	661	1.82%	98.91%
12	(11 - 12)	237	0.65%	99.56%
13	(12 - 13)	101	0.28%	99.84%
14	(13 - 14)	36	0.10%	99.94%
15	(14 - 14.91)	23	0.06%	100.00%
<b>Total general</b>		36290	100%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-50:** Ojiva porcentual acumulada de población cubierta para la red escenario futuro número dos (2).

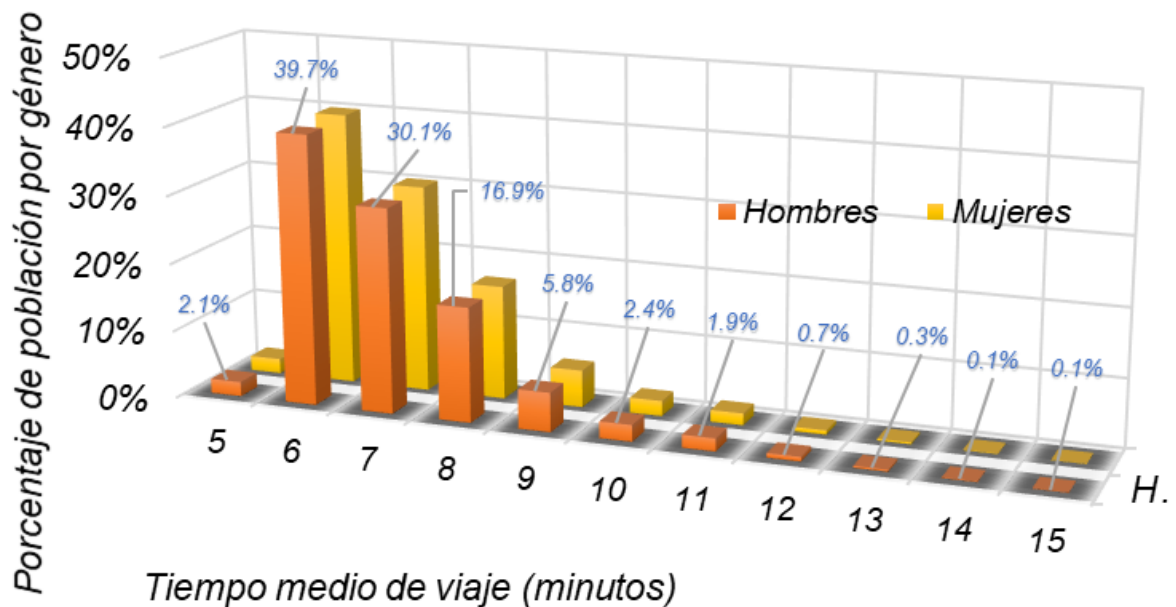


Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-30:** Porcentaje de población por genero cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número dos (2).

Curva isócrona	Rango (min)	Suma Hombres	Porc. (%)	Porcentaje acumulado (%)	Suma de Mujeres	Porc. (%)	Porcentaje acumulado (%)
5	(4.74-5)	378	2.13%	2.13%	405	2.18%	2.18%
6	(5 - 6)	7035	39.70%	41.83%	7451	40.13%	42.31%
7	(6 - 7)	5333	30.09%	71.92%	5646	30.41%	72.72%
8	(7 - 8)	2987	16.85%	88.78%	3107	16.73%	89.45%
9	(8 - 9)	1022	5.77%	94.54%	1016	5.47%	94.92%
10	(9 - 10)	433	2.44%	96.99%	419	2.26%	97.18%
11	(10 - 11)	336	1.90%	98.88%	325	1.75%	98.93%
12	(11 - 12)	118	0.67%	99.55%	119	0.64%	99.57%
13	(12 - 13)	50	0.28%	99.83%	51	0.27%	99.84%
14	(13 - 14)	18	0.10%	99.93%	18	0.10%	99.94%
15	(14-14.9)	12	0.07%	100%	11	0.06%	100%
Total general		36290	17722	100%	18568	100%	

Fuente: Elaboración propia.

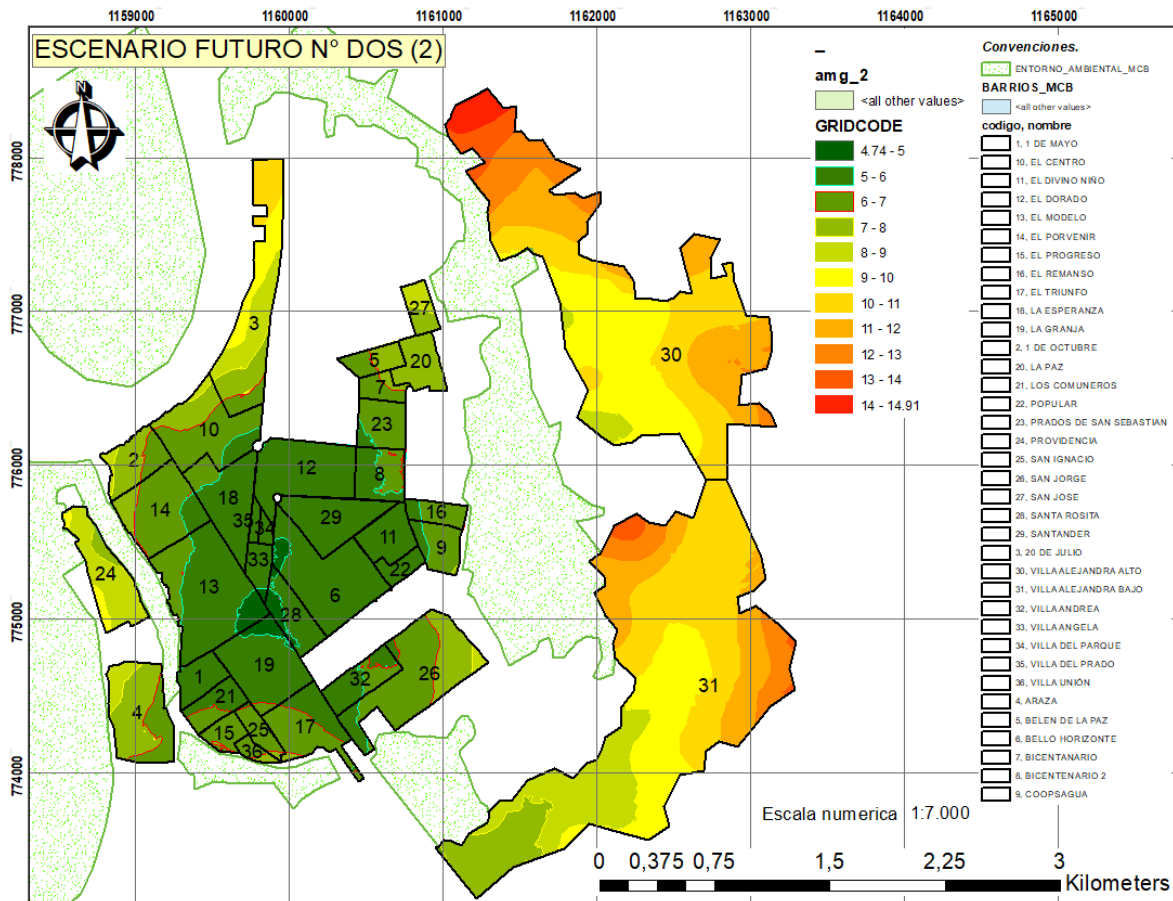
**Figura 4-51:** Porcentaje de población cubierta por género en la red escenario futuro número dos (2).

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2.2 Curvas isócronas en relación con la variable geográfica de barrios, escenario futuro número dos (2).

De acuerdo con el procedimiento descrito en el capítulo 3.4.1 se realiza una intersección entre la información del polígono de las curvas isócronas de accesibilidad y el polígono de barrios para generar la cobertura de las curvas con la población de los diferentes barrios.

**Figura 4-52:** Mapa de análisis de cobertura espacial por barrios, escenario futuro número dos (2).



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

El análisis de accesibilidad media global en función de la delimitación geográfica por barrios para la presente propuesta de conexión de los sectores Villa Alejandra bajo y alto, mejora sustancialmente los tiempos promedio de viaje para estas comunidades, en el resto de la ciudad no hay cambios notorios.

**Tabla 4-31:** Relación de barrios por curva isócrona promedio, población y densidad poblacional, escenario futuro número dos (2).

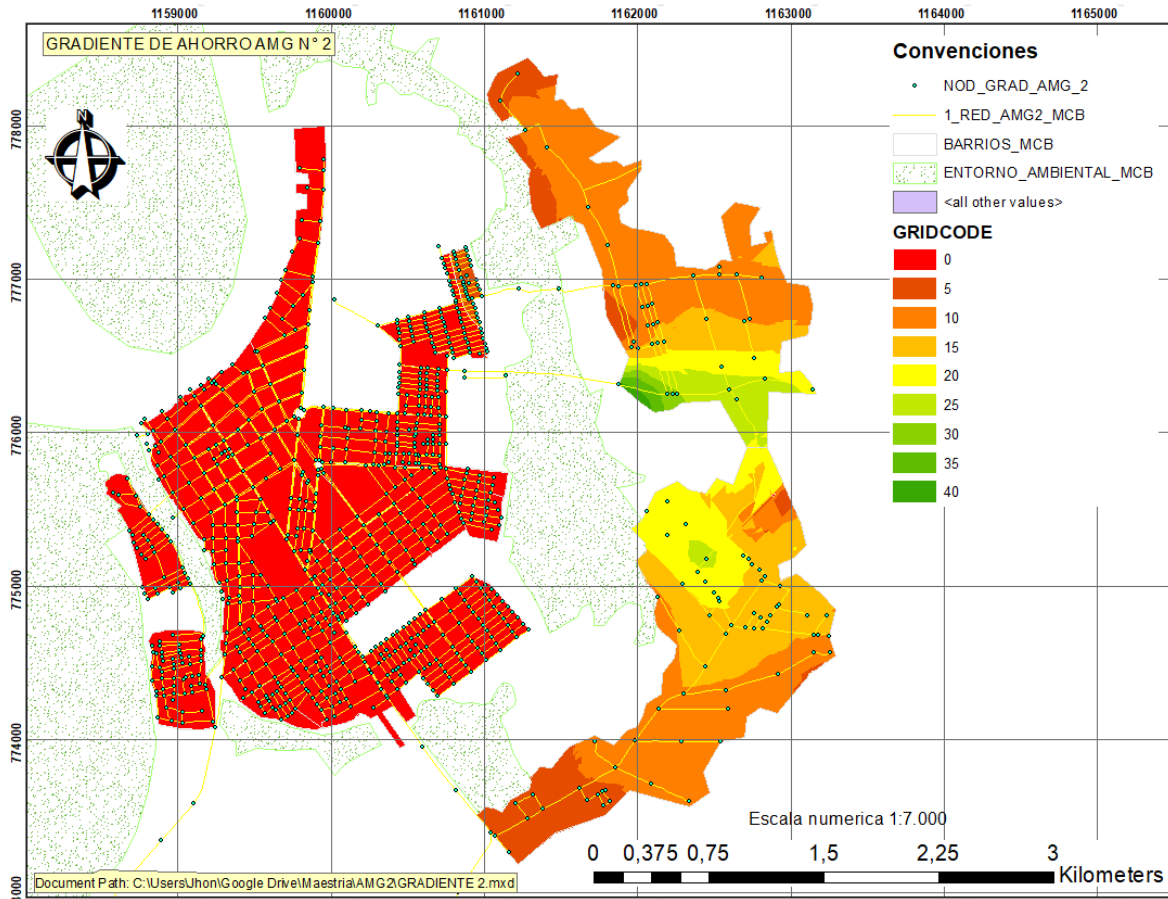
<b>Barrio.</b>	<b>Promedio general de tiempo de viaje (min).</b>	<b>Población (hab).</b>	<b>Densidad poblacional (Hab / ha).</b>
<i>Santa Rosita.</i>	5.36	687	64.90
<i>Villa Angela.</i>	5.40	270	55.33
<i>Bello Horizonte.</i>	5.71	2206	70.47
<i>La Granja.</i>	5.78	2041	88.63
<i>1 de mayo.</i>	6.00	591	83.37
<i>El Divino Niño.</i>	6.00	843	84.90
<i>El Dorado.</i>	6.00	1276	52.37
<i>Popular.</i>	6.00	436	107.24
<i>Santander.</i>	6.00	740	44.59
<i>Villa del Parque.</i>	6.00	35	19.92
<i>Villa del Prado.</i>	6.00	57	33.07
<i>Bicentenario 2.</i>	6.31	1003	90.49
<i>La Esperanza.</i>	6.33	811	41.95
<i>El Modelo.</i>	6.36	2625	67.98
<i>Villa Andrea.</i>	6.43	1111	107.83
<i>Los Comuneros.</i>	6.67	512	66.14
<i>Prados de San Sebastián.</i>	6.67	973	101.30
<i>El Triunfo.</i>	6.75	1063	59.59
<i>Coopsagua.</i>	6.83	628	74.81
<i>El Porvenir.</i>	7.00	2556	113.69
<i>El Remanso.</i>	7.00	704	127.31
<i>San Ignacio.</i>	7.00	393	81.18
<i>Belén de La Paz.</i>	7.50	644	107.61
<i>Bicentenario.</i>	7.50	187	40.15
<i>Villa Unión.</i>	7.50	135	52.80
<i>San Jorge.</i>	7.55	3961	112.90
<i>Arazá.</i>	7.60	2193	92.65
<i>El Centro.</i>	7.67	635	25.24
<i>El Progreso.</i>	7.71	440	90.08
<i>1 de octubre.</i>	7.75	843	74.19
<i>La Paz.</i>	8.00	1540	165.69
<i>20 de Julio.</i>	8.13	1655	46.62
<i>San José.</i>	8.50	279	50.15
<i>Providencia.</i>	9.00	996	55.01
<i>Villa Alejandra Bajo.</i>	10.21	558	2.43
<i>Villa Alejandra Alto.</i>	11.43	663	3.42

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.2.3 Cálculo de gradiente de ahorro escenario futuro número dos (2).

Con el objetivo de conocer el impacto que tiene la adición de infraestructura vial en el escenario futuro número dos respecto al escenario actual, en la siguiente figura se puede apreciar las curvas isócronas con el porcentaje de ahorro obtenido.

**Figura 4-53:** Cálculo de gradiente de ahorro escenario futuro número dos.



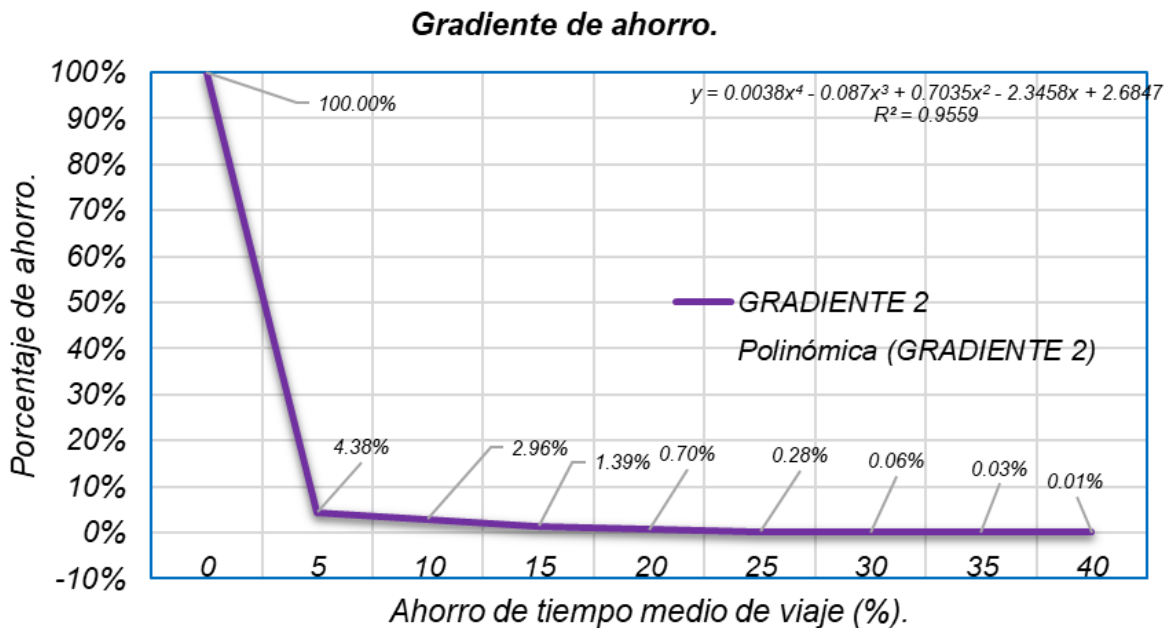
*Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.*

Los resultados del mapa anterior nos permiten confirmar los resultados de los cálculos de accesibilidad obtenidos para la propuesta del escenario dos (2), en donde los sectores de Villa Alejandra Bajo y Villa Alejandra Alto, presentan un considerable porcentaje de gradiente de ahorro respecto a las condiciones de accesibilidad del escenario actual, esto se debe principalmente a la creación de una nueva vía en cumplimiento de los requisitos del manual de diseño geométrico de vías de INVIAS que conecta dos sectores incomunicados por vía terrestre pero muy próximos geográficamente.

**Tabla 4-32:** Porcentaje gradiente de ahorro en la población total, escenario dos (2).

Curva	Rango de ahorro (%)	Población (hab.)	Porcentaje (%)	Población total (%)
0	0	34701	95.62%	100.00%
5	(0 - 5)	517	1.42%	4.38%
10	(5 - 10)	567	1.56%	2.96%
15	(10 - 15)	253	0.70%	1.39%
20	(15 - 20)	153	0.42%	0.70%
25	(20 - 25)	77	0.21%	0.28%
30	(25 - 30)	11	0.03%	0.06%
35	(30 - 35)	8	0.02%	0.03%
40	(35 - 40)	4	0.01%	0.01%
<b>Total general</b>		36290	100%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-54:** Relación porcentual de gradiente de ahorro respecto a la población total, escenario dos (2).

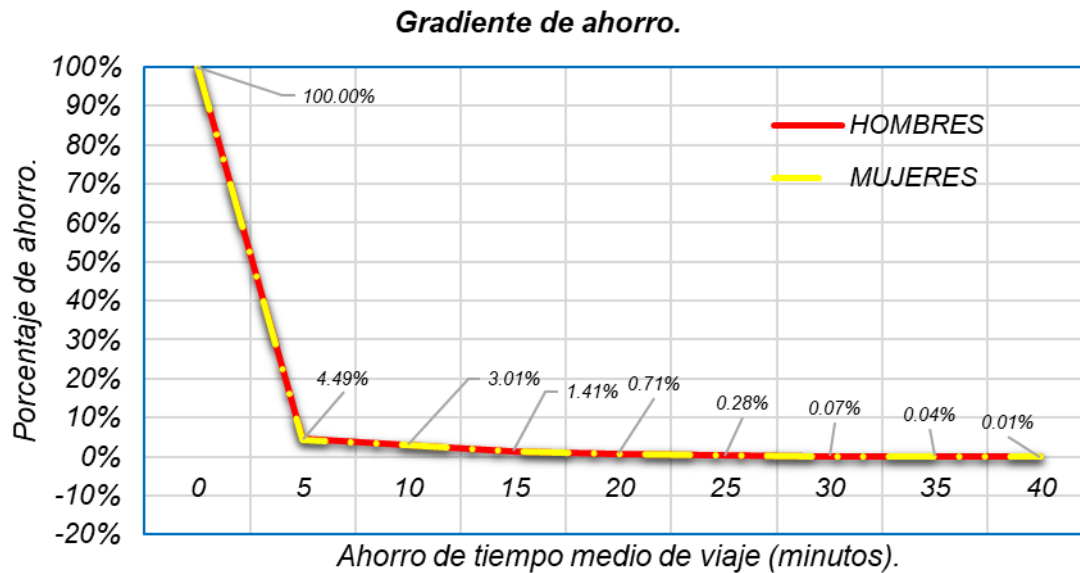
Fuente: Elaboración propia.

El 4.38% de la población igual a 1589 habitantes presentó un porcentaje de gradiente de ahorro de por lo menos el 5%, mientras que el 2.96% (1074 hab.) tuvo por lo menos ahorro del 10%, el 1.39% (504 hab.) del 15%, el 0.70% de los habitantes llegó a tener ahorro hasta del 20% y termina como se ilustra en la tabla y figura anterior, cabe anotar que los resultados son acordes al tipo de intervención que se hace en una zona periférica, alejada de la malla vial urbana.

**Tabla 4-33:** Porcentaje de gradiente de ahorro respecto a la población por género, escenario dos.

Curva	Rango de ahorro (%)	Suma de Hombres	Porcentaje (%)	Población hombres (%)	Suma de Mujeres	Porcentaje (%)	Población hombres (%)
0	0	16927	95.51%	100.00%	17774	95.72%	100%
5	(0 - 5)	262	1.48%	4.49%	255	1.37%	4.28%
10	(5 - 10)	283	1.60%	3.01%	284	1.53%	2.90%
15	(10 - 15)	125	0.70%	1.41%	128	0.69%	1.37%
20	(15 - 20)	75	0.42%	0.71%	77	0.42%	0.68%
25	(20 - 25)	39	0.22%	0.28%	38	0.20%	0.27%
30	(25 - 30)	6	0.03%	0.07%	5	0.03%	0.06%
35	(30 - 35)	4	0.02%	0.04%	4	0.02%	0.03%
40	(35 - 40)	2	0.01%	0.01%	2	0.01%	0.01%
Total general	36290	17722	100%		18568	100%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-55:** Relación porcentual de gradiente de ahorro respecto a la población total, escenario dos.

Fuente: Elaboración propia.



### 4.5.3 Accesibilidad media global y gradiente de ahorro para escenario futuro número tres (3).

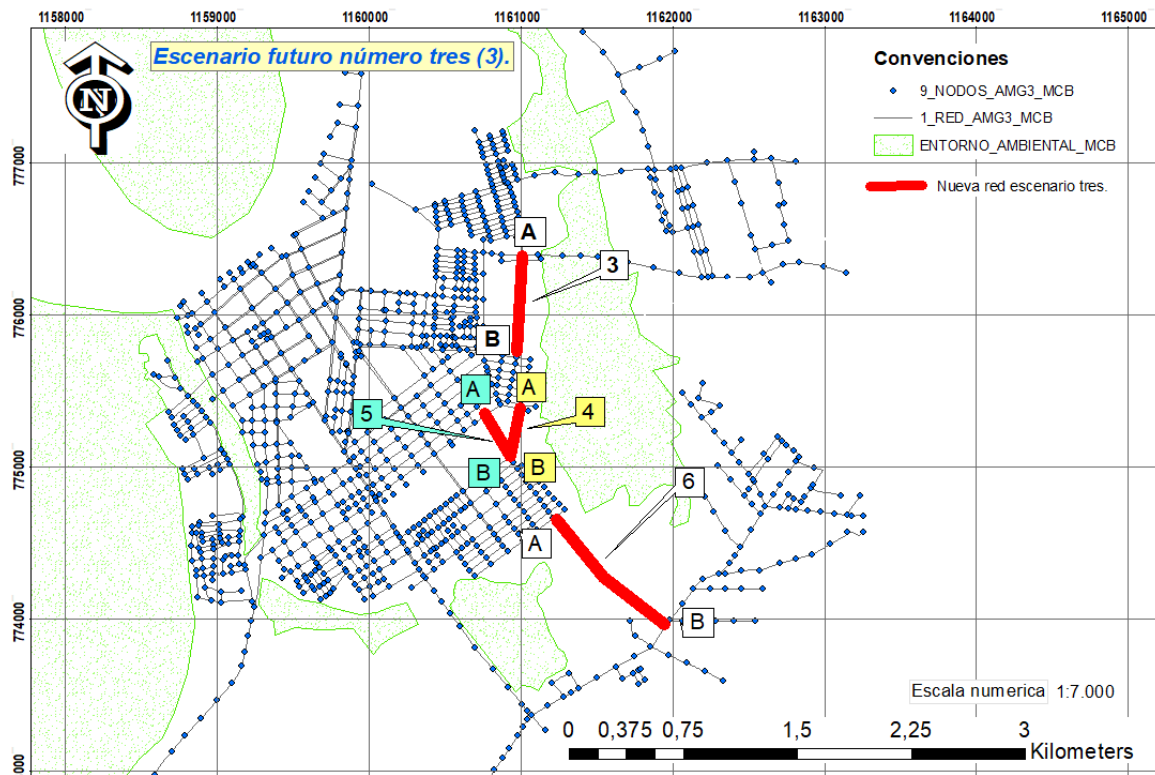
Según procedimiento descrito en el capítulo 3.3 se desarrolló los cálculos de accesibilidad media global para el tercer escenario propuesto como medida de intervención en la infraestructura vial y está compuesto por la adición de cuatro (4) tramos como se detalla.

**Tabla 4-34:** Coordenadas planas de los puntos de conexión del escenario tres (3).

Tramo	Punto de conexión.	Coordenada X	Coordenada Y
3	A	1160998,73	776397,14
	B	1160974,03	775719,83
4	A	1160994,66	775377,40
	B	1160922,82	775061,63
5	A	1160762,00	775334,22
	B	1160922,82	775061,63
6	A	1161216,18	774660,55
	B	1161960,43	773959,56

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-56:** Mapa de detalle de ubicación, escenario tres (3).



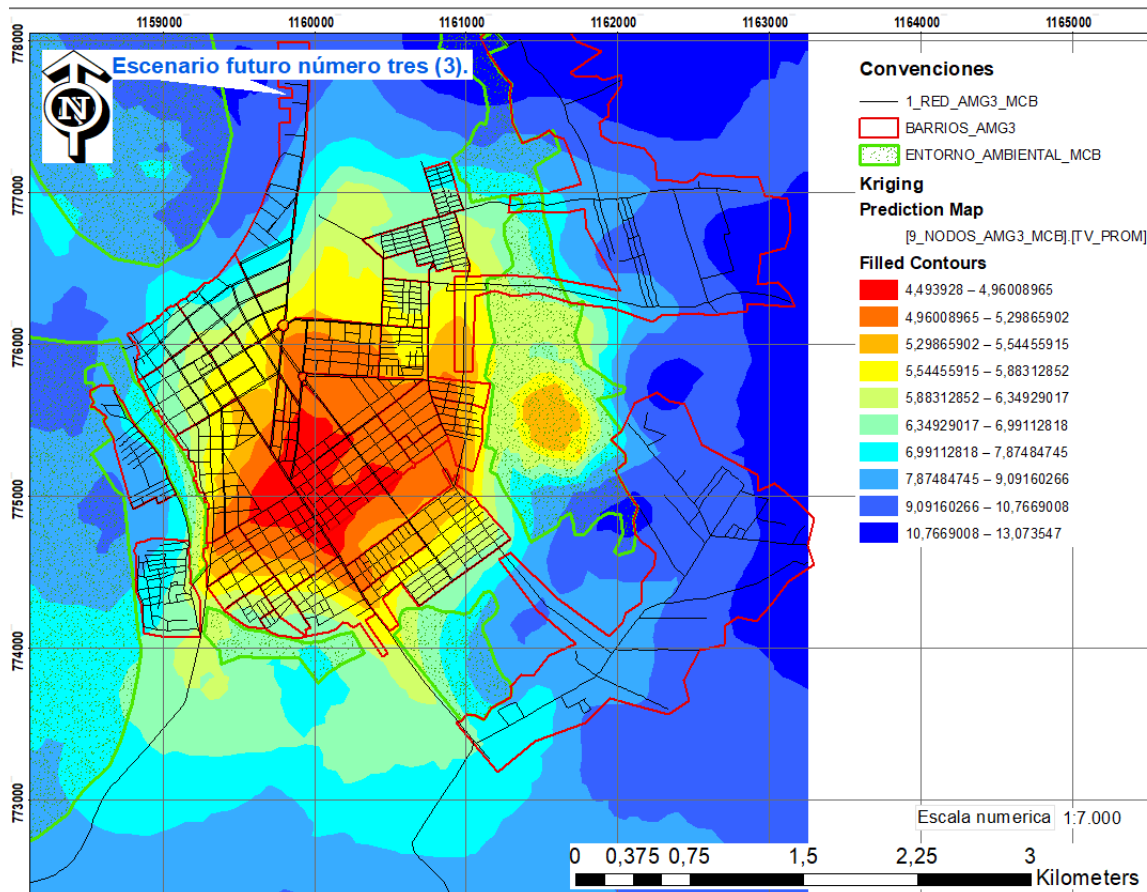
Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

#### 4.5.3.1 Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas de la red - escenario futuro número tres (3).

La red está compuesta por 1077 nodos y 1684 arcos, los cuales suman una longitud total (L) de 152.650,79 m en un rango de extensión lineal que va desde los 12.28 hasta 391.92 m, con promedio de 90.64 m y una desviación estándar de 49.40 m.

Los cálculos desarrollados según la sección [3.3.3](#) presentan un mapa predictivo en función del tiempo promedio de viaje que nos da a entender su comportamiento y permite deducir de manera preliminar las zonas con menor accesibilidad.

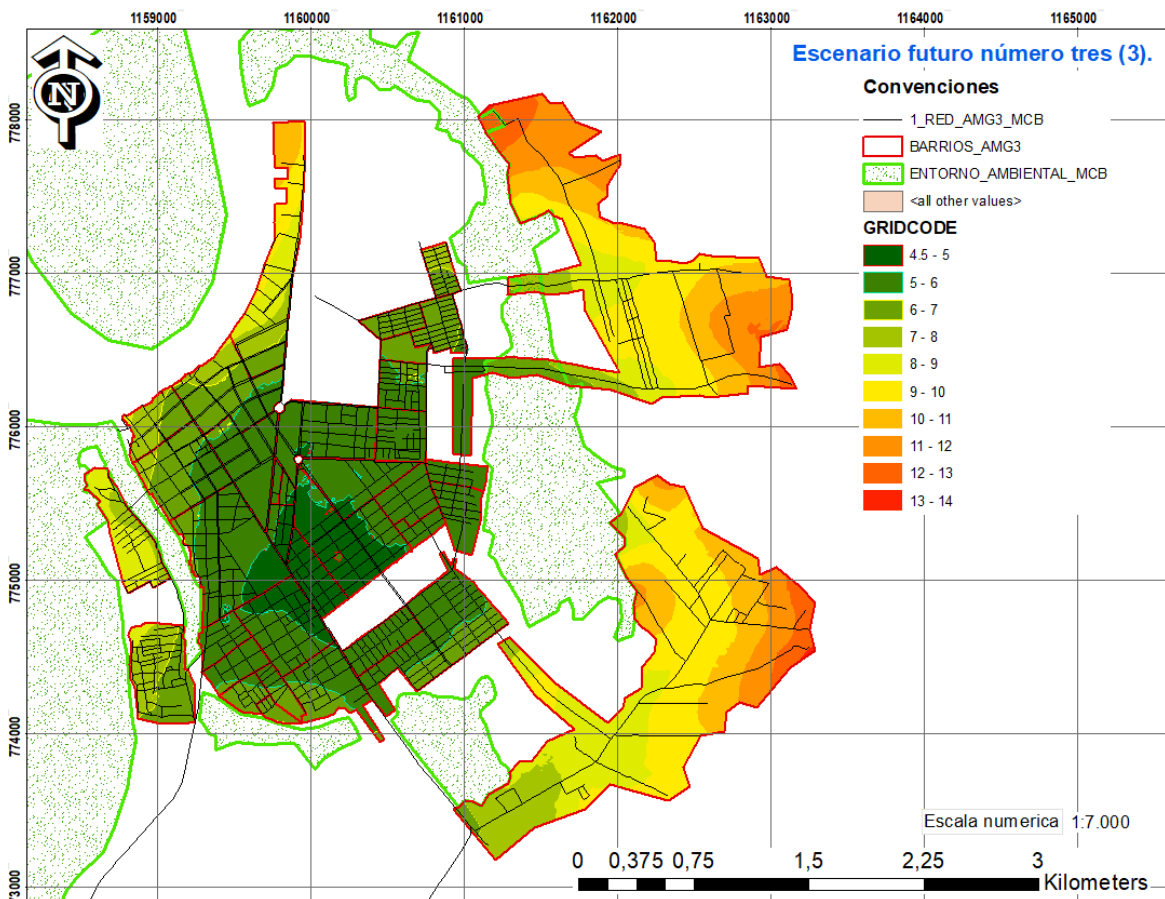
**Figura 4-57:** Resultado Kriging ordinario y predictivo, escenario futuro número tres (3).



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

De acuerdo con el procedimiento establecido por la metodología en los capítulos [3.1](#), [3.2](#) y [3.3](#) se obtuvo los resultados del cálculo de la accesibilidad media global según curvas isócronas.

**Figura 4-58:** Mapa de curvas isócronas de la accesibilidad media global según red vial escenario futuro número tres (3).



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

Como resultado del análisis de accesibilidad para el escenario tres (3) se obtuvo la figura anterior, en la cual se detalla el comportamiento del tiempo de viaje requerido para el desplazamiento en intervalos de un minuto mediante convenciones de colores, con una predominancia de los tiempos de desplazamiento menores a nueve minutos.

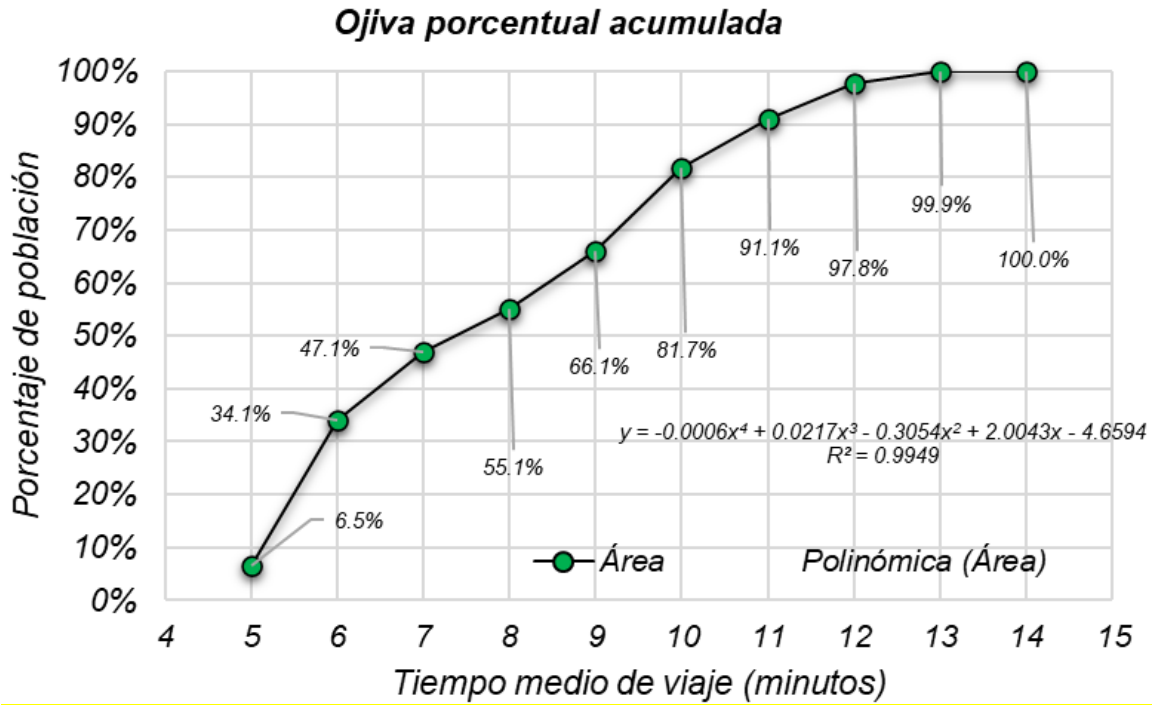
Se tiene que el tiempo promedio mínimo obtenido es de 4.5 a 5 minutos en los barrios aledaños al estadio Yaquirana, este comportamiento se puede atribuir a que es una zona con buena conectividad vial, la cual permite un fácil desplazamiento desde y hacia cualquier zona del municipio. De otra parte se tienen en las zonas de expansión urbana curvas isócronas de mayores tiempos promedio de viaje esto debido a su distancia al polígono principal la cual está dada por vías de conexión con longitud cercana al kilómetro.

**Tabla 4-35:** Porcentaje de área cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número tres (3).

<b>Curva isócrona</b>	<b>Rango (min)</b>	<b>Área cubierta (ha.)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Porcentaje acumulado (%)</b>
5	(4.74 - 5)	57.55	6.54%	6.54%
6	(5 - 6)	242.66	27.58%	34.13%
7	(6 - 7)	113.71	12.93%	47.05%
8	(7 - 8)	70.68	8.03%	55.09%
9	(8 - 9)	96.77	11.00%	66.09%
10	(9 - 10)	137.47	15.63%	81.72%
11	(10 - 11)	82.19	9.34%	91.06%
12	(11 - 12)	59.05	6.71%	97.77%
13	(12 - 13)	18.94	2.15%	99.92%
14	(13 - 14)	0.67	0.08%	100%
<b>Total general</b>		<b>971.96</b>	<b>100%</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-59:** Ojiva porcentual acumulada de área cubierta para la red escenario futuro número tres (3).



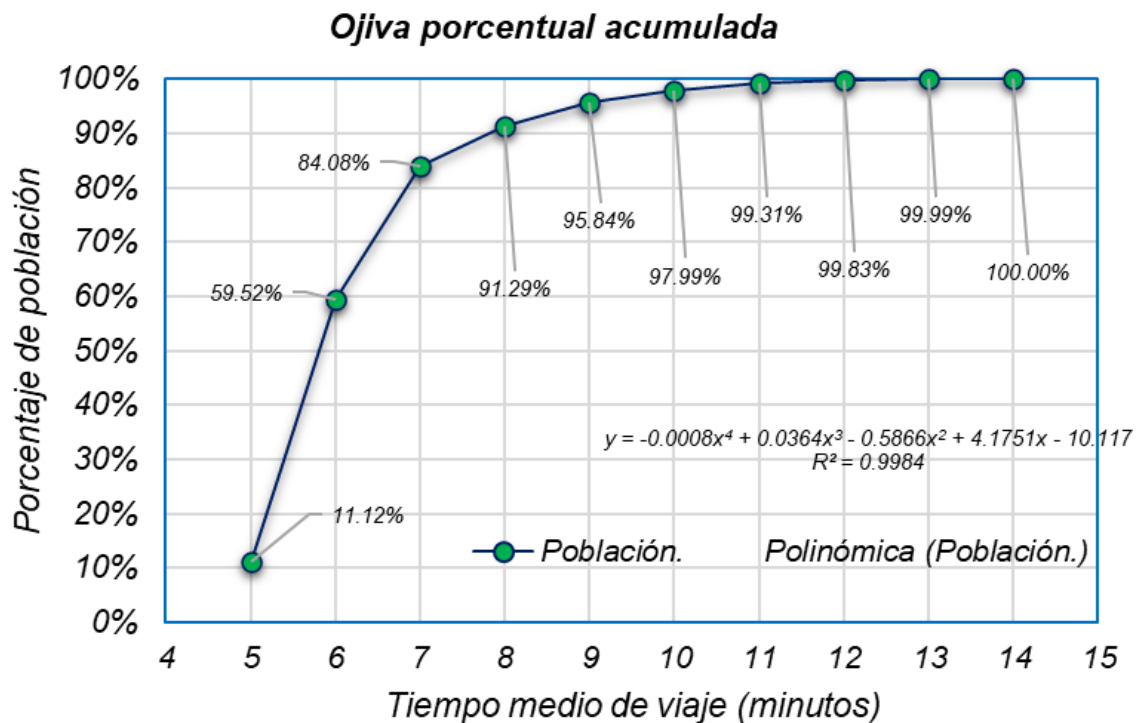
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-36:** Porcentaje de población total cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número tres (3).

<b>Curva isócrona</b>	<b>Rango (min)</b>	<b>Población cubierta (hab.)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Porcentaje acumulado (%)</b>
5	(4.50 - 5)	4034	11.12%	11.12%
6	(5 - 6)	17564	48.40%	59.52%
7	(6 - 7)	8913	24.56%	84.08%
8	(7 - 8)	2616	7.21%	91.29%
9	(8 - 9)	1652	4.55%	95.84%
10	(9 - 10)	781	2.15%	97.99%
11	(10 - 11)	479	1.32%	99.31%
12	(11 - 12)	190	0.52%	99.83%
13	(12 - 13)	59	0.16%	99.99%
14	(13 - 13.18)	2	0.01%	100.00%
<b>Total general</b>		36290	100.00%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-60:** Ojiva porcentual acumulada de población cubierta para la red escenario futuro número tres (3).



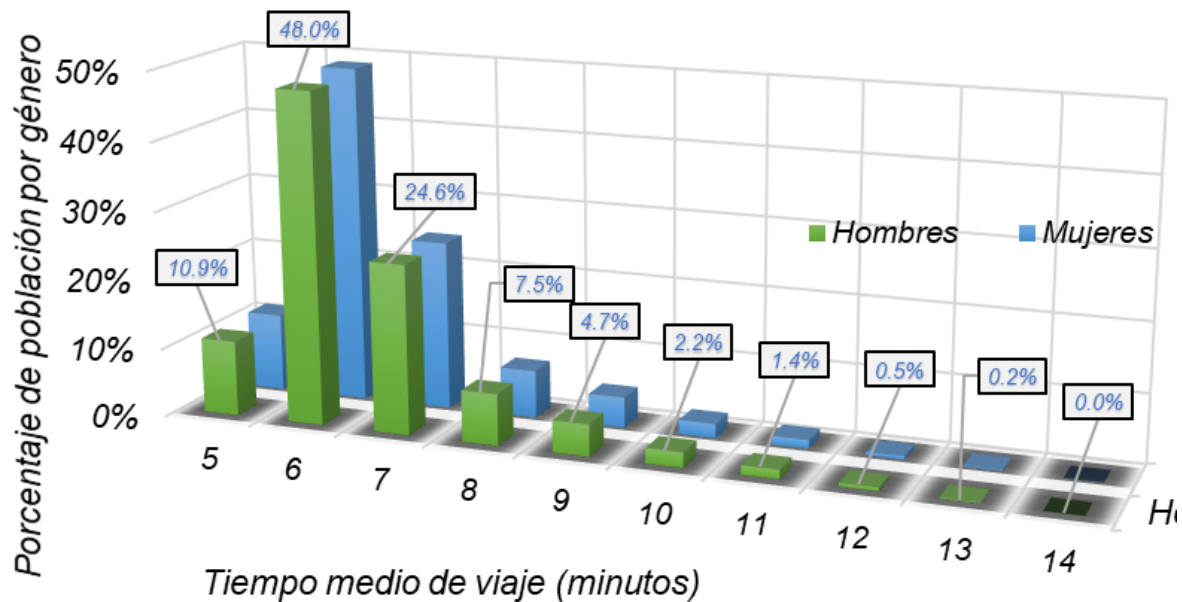
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-37:** Porcentaje de población por genero cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número tres (3).

Curva isócrona	Rango (min)	Suma de Hombres	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)	Suma de Mujeres	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
5	(4.50 - 5)	1940	10.95%	10.95%	2094	11.28%	11.28%
6	(5 - 6)	8500	47.96%	58.91%	9064	48.81%	60.09%
7	(6 - 7)	4362	24.61%	83.53%	4551	24.51%	84.60%
8	(7 - 8)	1328	7.49%	91.02%	1289	6.94%	91.54%
9	(8 - 9)	825	4.66%	95.67%	826	4.45%	95.99%
10	(9 - 10)	397	2.24%	97.91%	384	2.07%	98.06%
11	(10 - 11)	244	1.38%	99.29%	235	1.27%	99.33%
12	(11 - 12)	95	0.54%	99.83%	95	0.51%	99.84%
13	(12 - 13)	29	0.17%	99.99%	29	0.16%	99.99%
14	13-13.18	1	0.01%	100.00%	1	0.01%	100.00%
Total general		36290			18568		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-61:** Porcentaje de población cubierta por género en la red escenario futuro número tres (3).

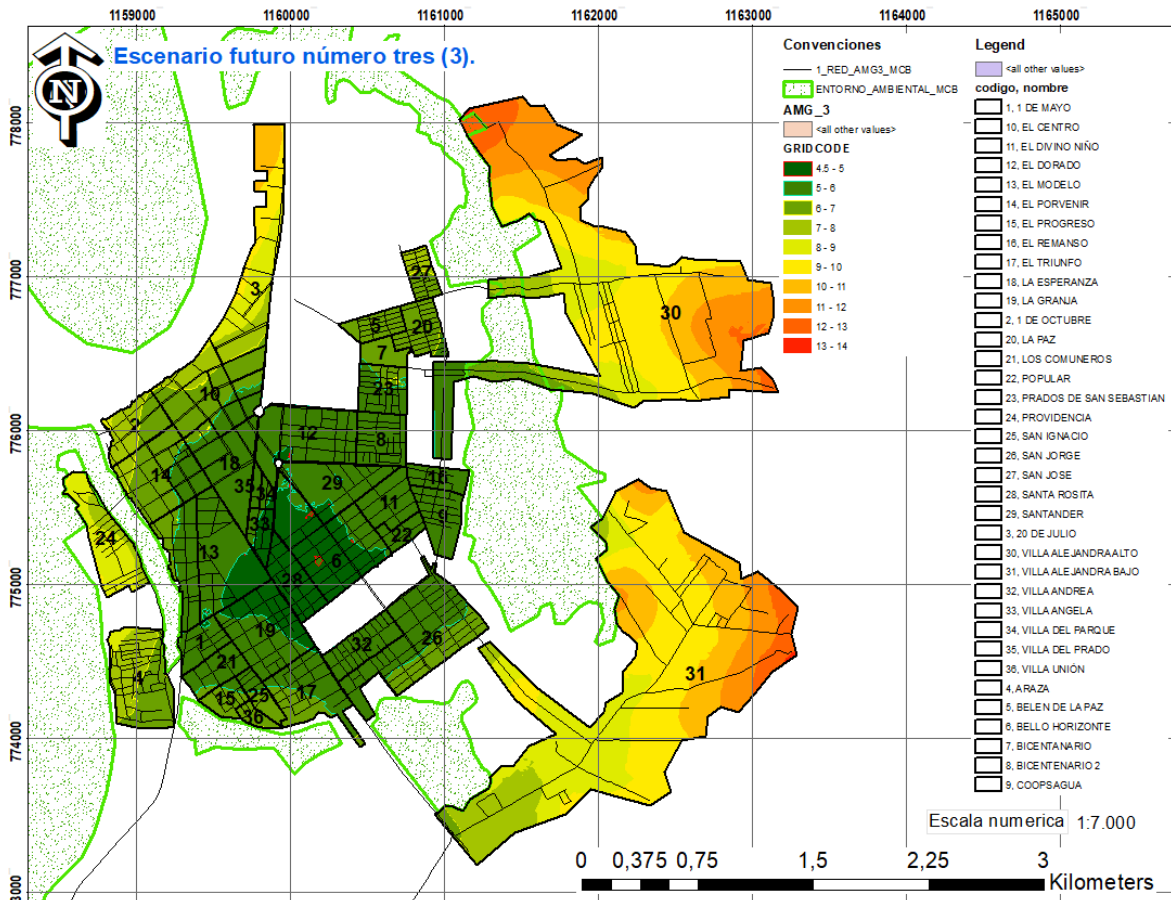


Fuente: Elaboración propia.

4.5.3.2 Curvas isócronas en relación con la variable geográfica de barrios, escenario futuro número tres (3).

De acuerdo con el procedimiento descrito en el capítulo 3.4.1 se realiza una intersección entre la información del polígono de las curvas isócronas de accesibilidad y el polígono de barrios para generar la cobertura de las curvas con la población de los diferentes barrios.

**Figura 4-62:** Mapa de análisis de cobertura espacial por barrios, escenario futuro número tres (3).



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

Las intervenciones realizadas en esta propuesta están ubicadas en los barrios San Jorge, Coopsagua y popular además de tener relación cercana con los barrios La paz, Bicentenario, Prados de San Sebastián y El remanso. Esta, a diferencia de los dos propuestas anteriores si se encuentra dentro de la malla vial urbana del polígono principal y pretende cerrar circuitos viales en el sector oriental del municipio, sin embargo se destaca en términos generales la buena conectividad de la red vial urbana en donde resulta necesario concretar estas obras viales para seguir mejorando las condiciones de accesibilidad.

Jhon Jairo Romero Vaca.

**Tabla 4-38:** Relación de barrios por curva isócrona promedio, población y densidad poblacional, escenario futuro número tres (3).

<i>Barrio</i>	<i>Promedio general de tiempo de viaje (min)</i>	<i>Población (hab)</i>	<i>Densidad poblacional (Hab / ha)</i>
SANTA ROSITA	5.00	687	64.90
SANTANDER	5.20	740	44.59
1 DE MAYO	5.33	591	83.37
VILLA ANGELA	5.43	270	55.33
LA GRANJA	5.44	2041	88.63
BELLO HORIZONTE	5.63	2206	70.47
VILLA DEL PARQUE	5.67	35	19.92
EL DORADO	5.75	1276	52.37
EL MODELO	5.88	2625	67.98
BICENTENARIO 2	6.00	1003	90.49
COOPSAGUA	6.00	628	61.46
EL DIVINO NIÑO	6.00	843	84.90
EL REMANSO	6.00	704	127.31
POPULAR	6.00	436	107.24
VILLA ANDREA	6.00	1111	107.83
VILLA DEL PRADO	6.00	57	33.07
LA ESPERANZA	6.08	811	41.95
PRADOS DE SAN SEBASTIÁN	6.14	973	101.30
EL TRIUNFO	6.29	1063	59.59
SAN JORGE	6.33	3961	109.69
BICENTENARIO	6.50	187	40.15
EL PROGRESO	6.50	440	90.08
LA PAZ	6.50	1540	165.69
SAN IGNACIO	6.50	393	81.18
EL PORVENIR	6.60	2556	113.69
LOS COMUNEROS	6.67	512	66.14
BELÉN DE LA PAZ	7.00	644	107.61
VILLA UNIÓN	7.00	135	52.80
ARAZÁ	7.10	2193	92.65
EL CENTRO	7.50	635	25.24
SAN JOSÉ	7.50	279	50.15
1 DE OCTUBRE	8.00	843	74.19
20 DE JULIO	9.22	1655	46.62
PROVIDENCIA	9.57	996	55.01
VILLA ALEJANDRA BAJO	9.82	558	2.63
VILLA ALEJANDRA ALTO	10.31	663	3.46
<i>Promedios generales</i>	6.62	1008.06	70.55

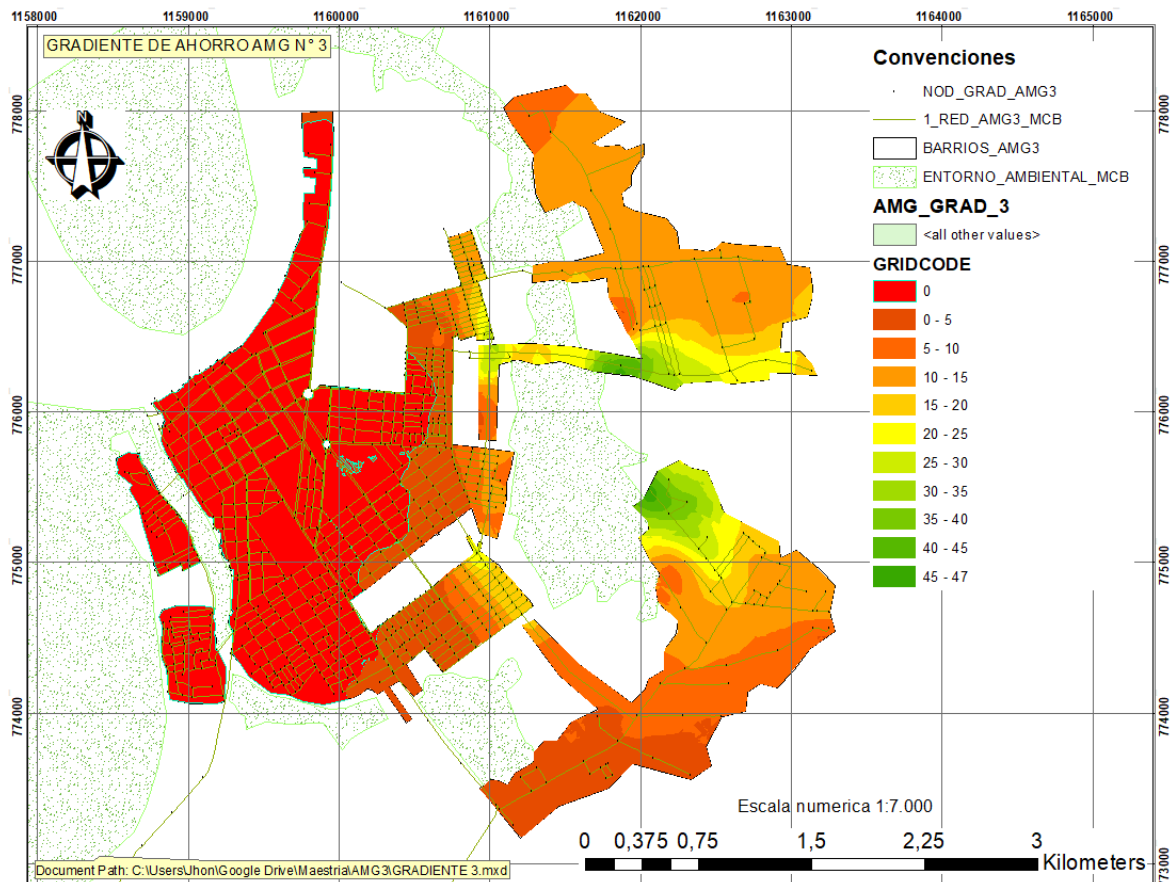
Fuente: Elaboración propia.



#### 4.5.3.3 Cálculo de gradiente de ahorro escenario futuro número tres.

Con el objetivo de conocer el impacto que tiene la adición de infraestructura vial en el escenario futuro número tres (3) respecto al escenario actual, en la siguiente figura se puede apreciar las curvas isócronas con el porcentaje de ahorro obtenido.

**Figura 4-63:** Cálculo de gradiente de ahorro escenario futuro número tres (3).



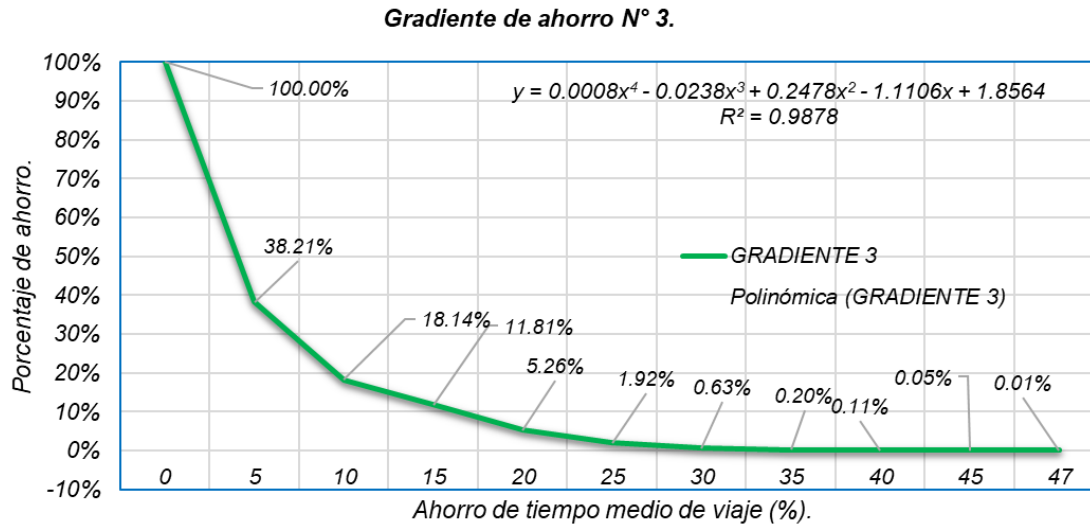
Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

El porcentaje de gradiente de ahorro para esta propuesta arroja los mejores resultados de las tres (3) propuestas evaluadas hasta el momento, gracias a su incidencia en la malla vial urbana principal, sin embargo también arroja buenos resultados para las zonas de expansión urbana. En detalle presenta valores porcentuales de gradiente de ahorro de hasta el 47%, donde el 38.21% de la población equivalente a 13866 habitantes tienen una mejoría porcentual respecto al tiempo promedio de viaje del escenario actual de hasta el 5% en los barrios El triunfo, Villa Andrea, San Jorge, Santa Rosita, Bello horizonte, Popular, Divino niño, Coopsagua, Santander, El remanso, Bicentenario, Prados de san Sebastián, Belén de la paz, La paz, San José, Villa Alejandra bajo y alto.

**Tabla 4-39:** Porcentaje de gradiente de ahorro en la población total, escenario tres (3).

<b>Curva</b>	<b>Rango de ahorro (%)</b>	<b>Población (hab.)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Población total (%)</b>
<b>0</b>	0	22424	61.79%	100.00%
<b>5</b>	(0 - 5)	7282	20.07%	38.21%
<b>10</b>	(5 - 10)	2297	6.33%	18.14%
<b>15</b>	(10 - 15)	2379	6.55%	11.81%
<b>20</b>	(15 - 20)	1210	3.33%	5.26%
<b>25</b>	(20 - 25)	470	1.29%	1.92%
<b>30</b>	(25 - 30)	154	0.43%	0.63%
<b>35</b>	(30 - 35)	36	0.10%	0.20%
<b>40</b>	(35 - 40)	22	0.06%	0.11%
<b>45</b>	(40 - 45)	14	0.04%	0.05%
<b>47</b>	(45 - 47)	2	0.01%	0.01%
<b>Total general</b>		<b>36290</b>	<b>100%</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-64:** Relación porcentual de gradiente de ahorro respecto a la población total, escenario tres (3).

Fuente: Elaboración propia.

El 38.21% de la población igual a 13866 habitantes presentó un porcentaje de gradiente de ahorro de por lo menos el 5%, mientras que el 18.14% (6583 hab.) tuvo por lo menos ahorro del 10%, el 11.81% (4286 hab.) del 15%, el 5.26% (1909 hab.) llegó a tener ahorro de hasta del 20% y termina como se ilustra en la tabla y figura anterior. Se resalta la efectividad de la propuesta al estar inmersa dentro de la malla vial urbana y a su vez estar próxima a las zonas de expansión urbana.

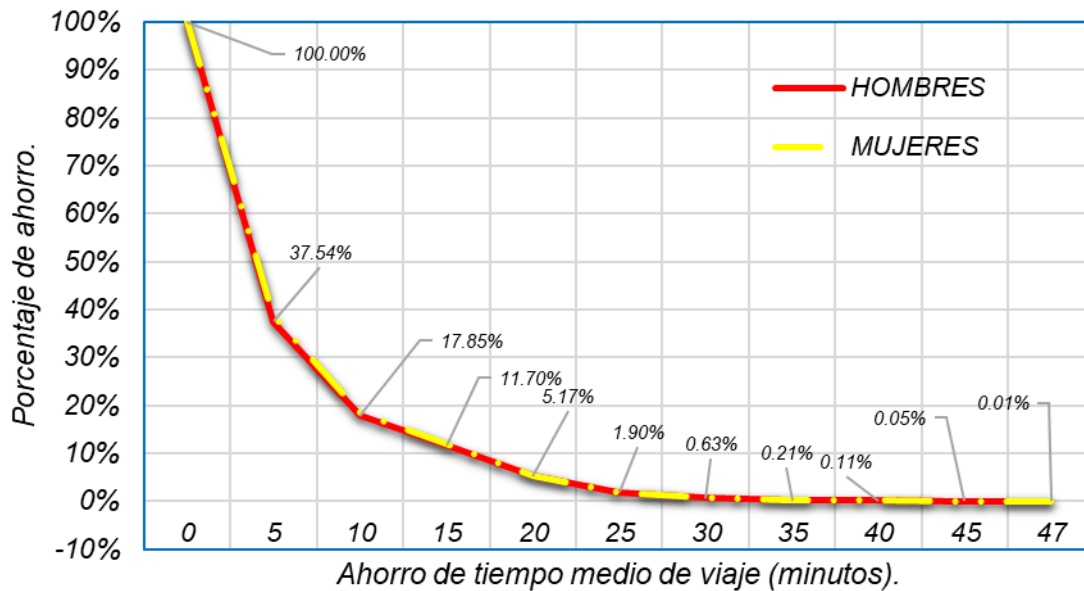
**Tabla 4-40:** Porcentaje de gradiente de ahorro respecto a la población por género, escenario tres (3).

Curva	Rango de ahorro (%)	Suma de Hombres	Porcentaje (%)	Población hombres (%)	Suma de Mujeres	Porcentaje (%)	Población hombres (%)
0	0	11069	62.46%	100.00%	11355	61.15%	100.00%
5	(0 - 5)	3488	19.68%	37.54%	3794	20.43%	38.85%
10	(5 - 10)	1090	6.15%	17.85%	1207	6.50%	18.42%
15	(10 - 15)	1157	6.53%	11.70%	1222	6.58%	11.92%
20	(15 - 20)	580	3.27%	5.17%	630	3.39%	5.34%
25	(20 - 25)	226	1.28%	1.90%	244	1.31%	1.94%
30	(25 - 30)	74	0.42%	0.63%	80	0.43%	0.63%
35	(30 - 35)	18	0.10%	0.21%	18	0.10%	0.20%
40	(35 - 40)	11	0.06%	0.11%	11	0.06%	0.10%
45	(40 - 45)	7	0.04%	0.05%	7	0.04%	0.04%
47	(45 - 47)	1	0.01%	0.01%	1	0.01%	0.01%
Total general		36290	17721	100%	18569	100%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-65:** Relación porcentual de gradiente de ahorro respecto a la población total, escenario tres (3).

**Gradiente de ahorro por género N° 3.**



Fuente: Elaboración propia.

**4.5.4 Accesibilidad media global y gradiente de ahorro para escenario futuro número cuatro (4).**

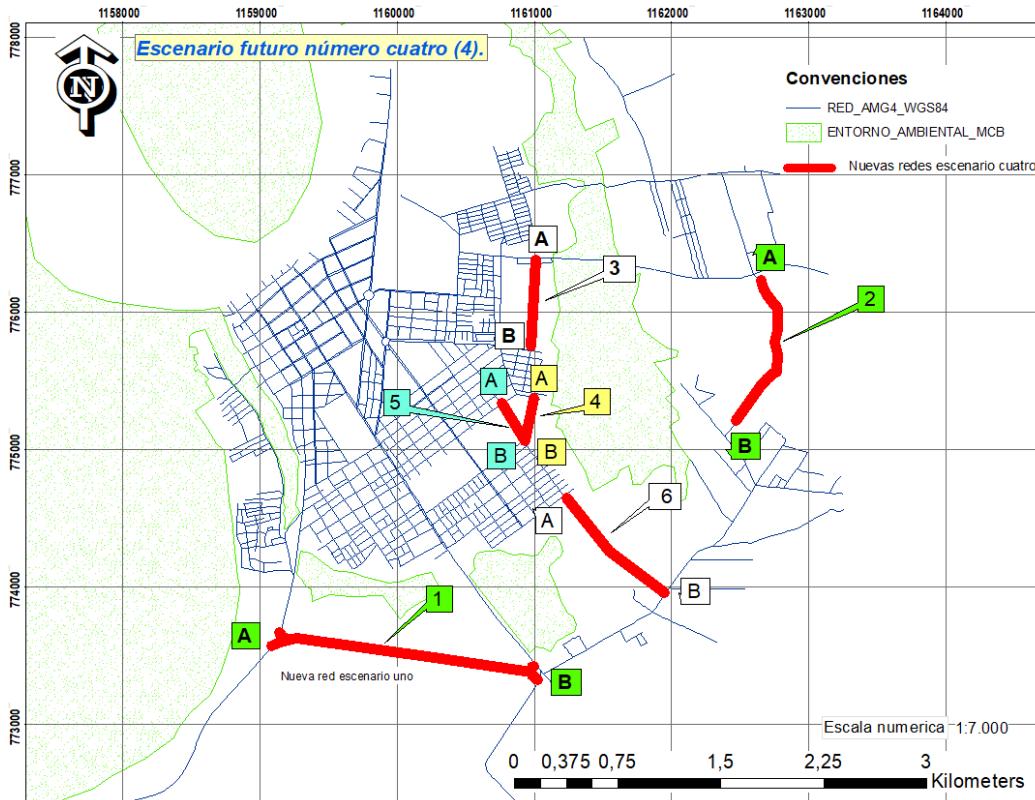
Según procedimiento descrito en el capítulo 3.3 se desarrolló los cálculos de accesibilidad media global para el cuarto escenario propuesto como medida de intervención en la infraestructura vial y está compuesto por suma de los escenarios uno, dos y tres.

**Tabla 4-41:** Coordenadas planas de los puntos de conexión del escenario cuatro (4).

Tramo	Punto de conexión.	Coordenada X	Coordenada Y
1	A	1159160,46	773685,42
		1159102,18	773577,62
	B	1161043,13	773335,12
		1161011,09	773435,30
2	B	1162451,42	775172,43
	B	1162651,92	776212,97
3	A	1160998,73	776397,14
	B	1160974,03	775719,83
4	A	1160994,66	775377,40
	B	1160922,82	775061,63
5	A	1160762,00	775334,22
	B	1160922,82	775061,63
6	A	1161216,18	774660,55
	B	1161960,43	773959,56

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-66:** Mapa de detalle de ubicación, escenario cuatro (4).



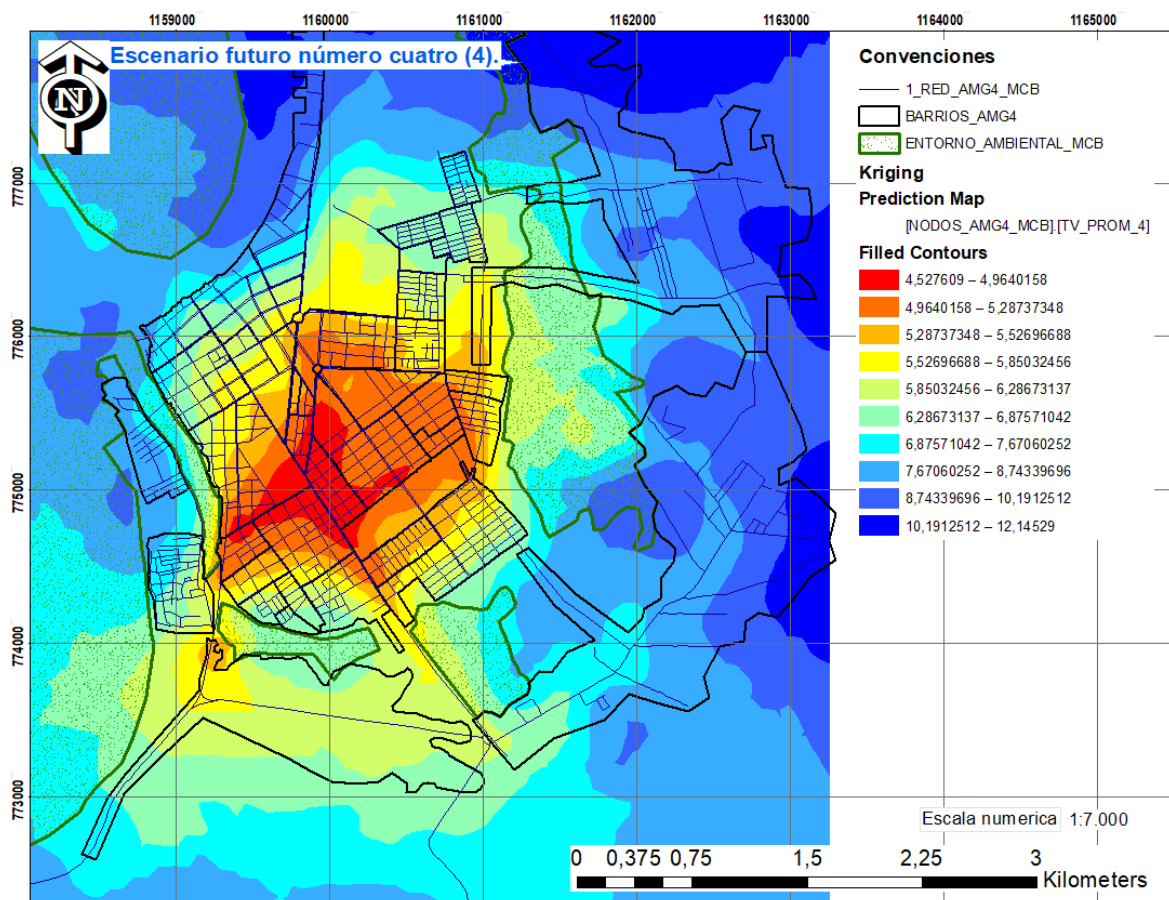
Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

#### 4.5.4.1 Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas de la red - escenario futuro número cuatro (4).

La red está compuesta por 1105 nodos y 1716 arcos, los cuales suman una longitud total (L) de 155.821,31 m en un rango de extensión lineal que va desde los 12.28 hasta 391.92 m, con promedio de 90.80 m y una desviación estándar de 49.06 m.

A continuación se ilustra un mapa predictivo que nos permite inferir de manera preliminar las zonas con menor accesibilidad.

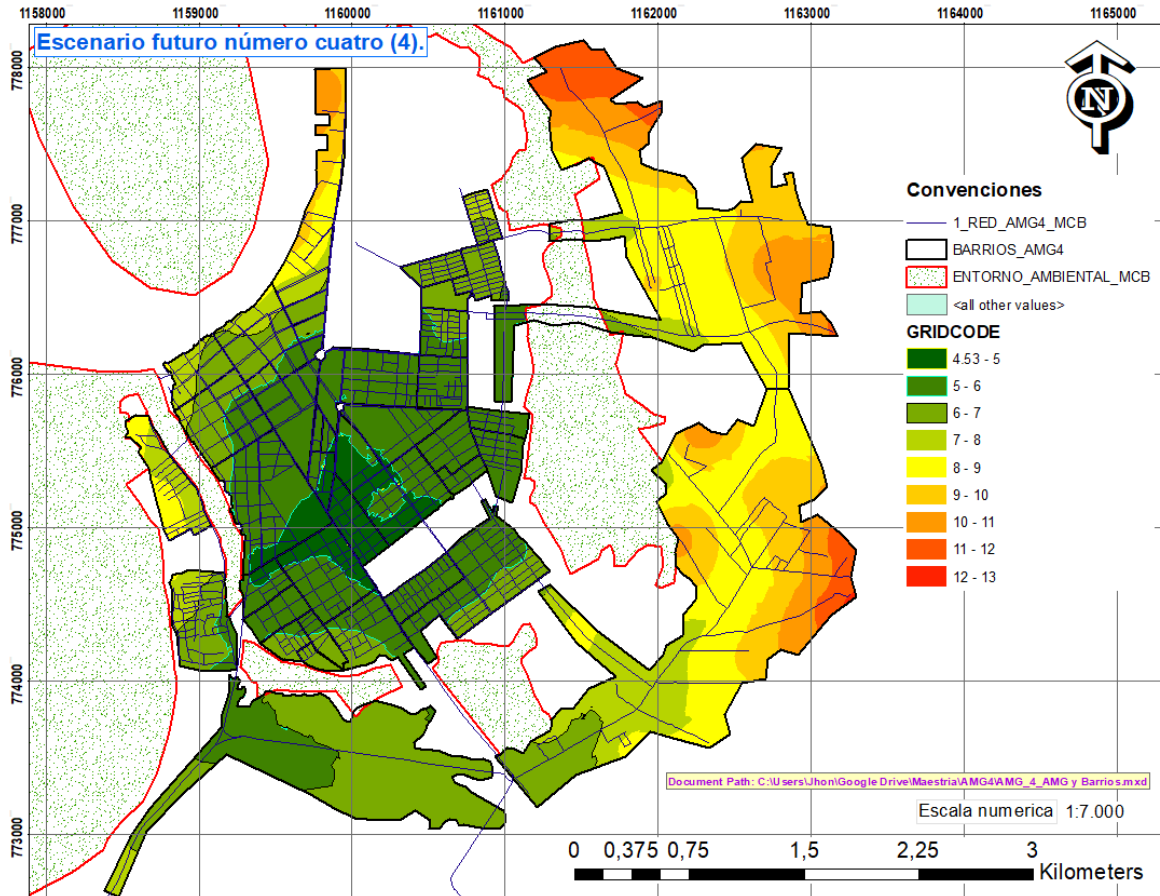
**Figura 4-67:** Resultado Kriging ordinario y predictivo, escenario futuro cuatro (4).



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

De acuerdo con el procedimiento establecido por la metodología en los capítulos [3.1](#), [3.2](#) y [3.3](#), se obtuvo los resultados del cálculo de la accesibilidad media global según curvas isócronas.

**Figura 4-68:** Mapa de curvas isócronas de la accesibilidad media global según red vial escenario futuro número cuatro (4).



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

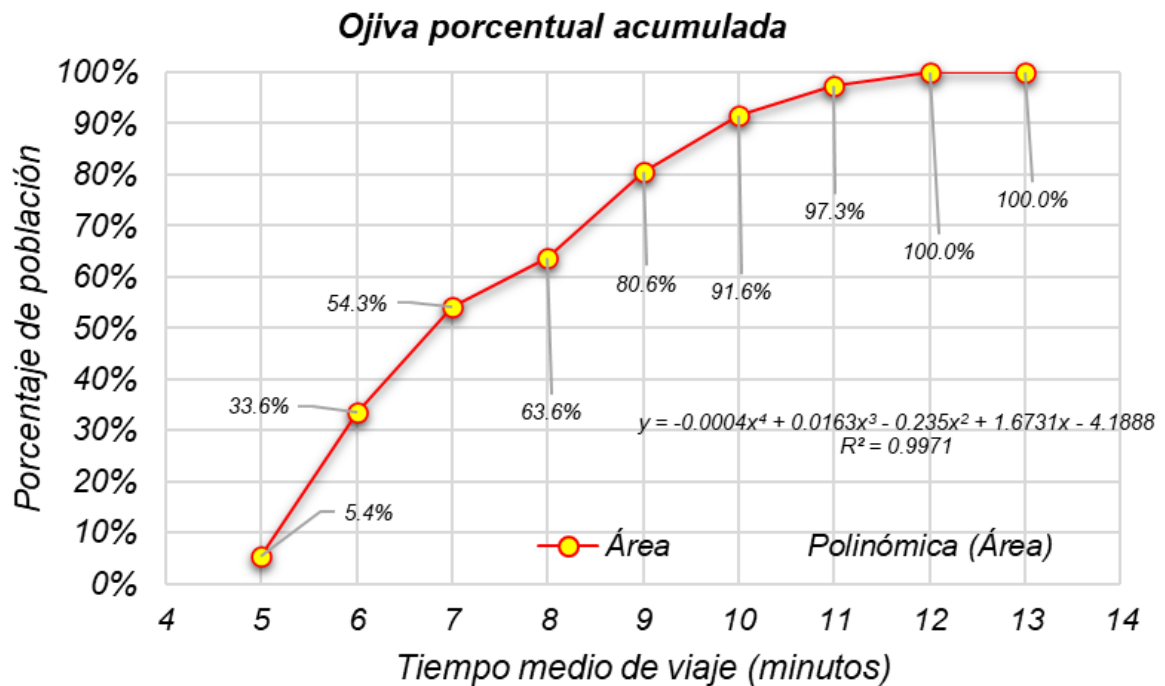
Las curvas isócronas de accesibilidad media global para la propuesta cuatro presentan los mejores resultados ya que se compone de la sumatoria de las tres (3) propuestas anteriores, resulta significativa la disminución de la curva isócrona mayor la cual es de 13 minutos en contraste con la del escenario actual que era de 16 minutos y que corresponde a los extremos de la ciudad creados en las zonas de expansión urbana. La curva isócrona menor presenta un rango de 4.53 a 5 minutos lo cual es significativo ya que las propuestas 1 y 2 se desarrollan en zonas alejadas del polígono urbano principal.

**Tabla 4-42:** Porcentaje de área cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número cuatro (4).

<b>Curva isócrona</b>	<b>Rango (min)</b>	<b>Área cubierta (ha.)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Porcentaje acumulado (%)</b>
5	4.53 - 5	52.11	5.36%	5.36%
6	(5 - 6)	274.64	28.26%	33.62%
7	(6 - 7)	201.13	20.69%	54.31%
8	(7 - 8)	90.68	9.33%	63.64%
9	(8 - 9)	164.38	16.91%	80.55%
10	(9 - 10)	107.01	11.01%	91.56%
11	(10 - 11)	55.48	5.71%	97.27%
12	(11 - 12)	26.23	2.70%	99.97%
13	12-12.17	0.30	0.03%	100.00%
<b>Total general</b>		971.96	100%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-69:** Ojiva porcentual acumulada de área cubierta para la red escenario futuro número cuatro (4).



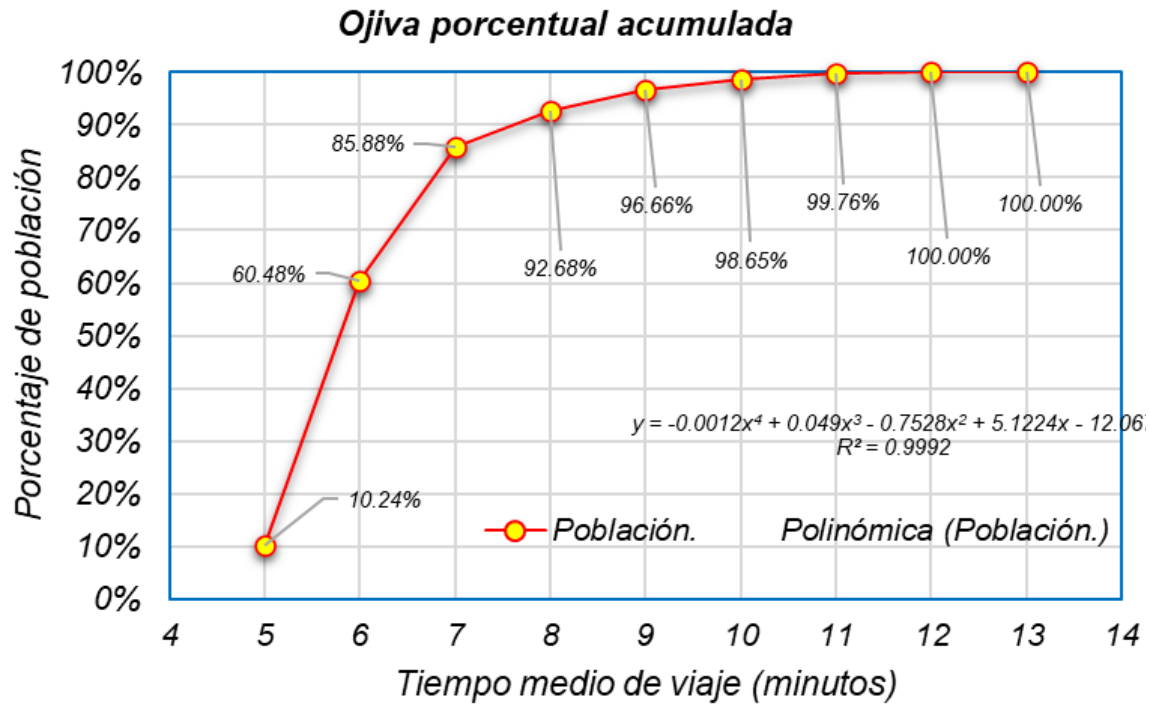
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-43:** Porcentaje de población total cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número cuatro (4).

Curva isócrona	Rango (min)	Población cubierta (hab.)	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
5	4.53 - 5	3714	10.24%	10.24%
6	(5 - 6)	18234	50.24%	60.48%
7	(6 - 7)	9216	25.40%	85.88%
8	(7 - 8)	2469	6.80%	92.68%
9	(8 - 9)	1444	3.98%	96.66%
10	(9 - 10)	724	2.00%	98.65%
11	(10 - 11)	401	1.10%	99.76%
12	(11 - 12)	87	0.24%	99.998%
13	12-12.17	1	0.002%	100%
<b>Total general</b>		<b>36290</b>	<b>100%</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-70:** Ojiva porcentual acumulada de población cubierta para la red escenario futuro número cuatro (4).



Fuente: Elaboración propia.

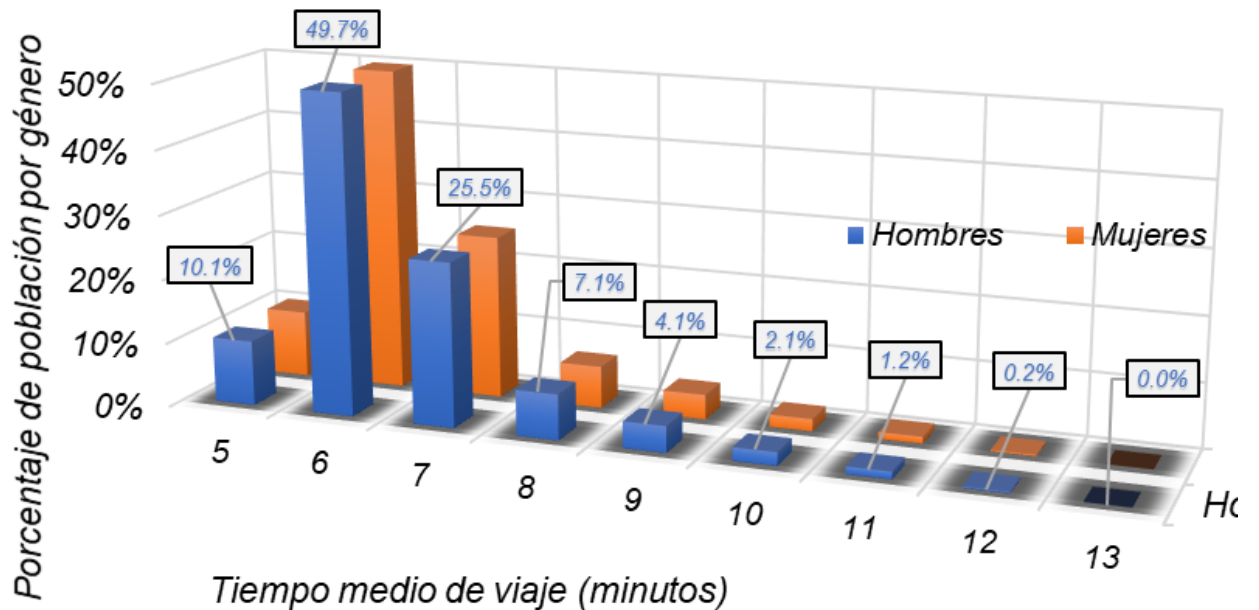


**Tabla 4-44:** Porcentaje de población por genero cubierta por las curvas isócronas para la red escenario futuro número cuatro (4).

Curva isócrona	Rango (min)	Suma de Hombres	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)	Suma de Mujeres	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
5	(4.35 - 5)	1796	10.13%	10.13%	1919	10.33%	10.33%
6	(5 - 6)	8810	49.71%	59.85%	9422	50.74%	61.08%
7	(6 - 7)	4513	25.47%	85.31%	4703	25.33%	86.41%
8	(7 - 8)	1255	7.08%	92.39%	1214	6.54%	92.94%
9	(8 - 9)	727	4.10%	96.50%	717	3.86%	96.81%
10	(9 - 10)	371	2.09%	98.59%	353	1.90%	98.71%
11	(10 - 11)	206	1.16%	99.75%	195	1.05%	99.76%
12	(11 - 12)	44	0.25%	99.994%	43	0.23%	99.995%
13	12-12.17	1	0.006%	100%	1	0.005%	100%
Total general	36290	17722	100%		18568	100%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-71:** Porcentaje de población cubierta por género en la red escenario futuro número cuatro (4).

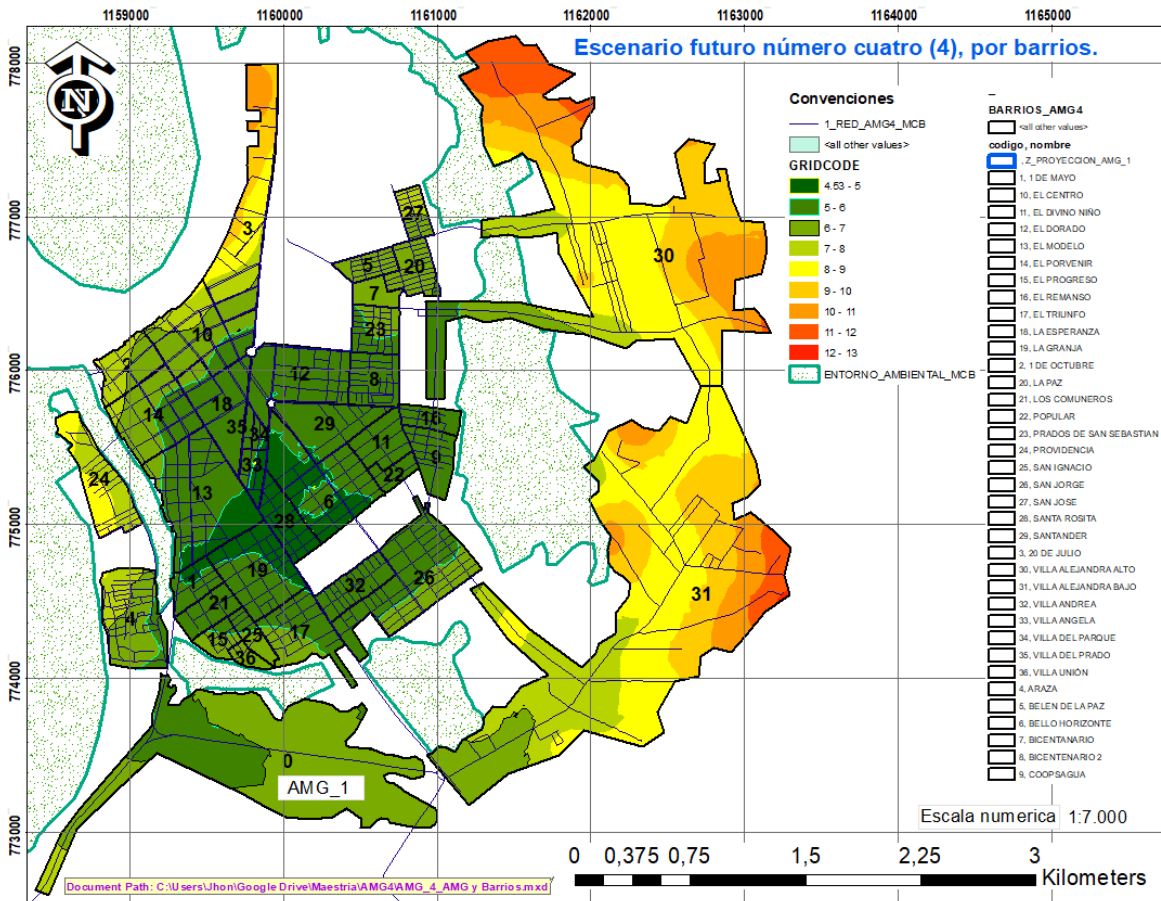


Fuente: Elaboración propia.

4.5.4.2 Curvas isócronas en relación con la variable geográfica de barrios, escenario futuro número cuatro (4).

De acuerdo con el procedimiento descrito en el capítulo 3.4.1 se realiza una intersección entre la información del polígono de las curvas isócronas de accesibilidad y el polígono de barrios para generar la cobertura de las curvas con la población de los diferentes barrios.

**Figura 4-72:** Mapa de análisis de cobertura espacial por barrios, escenario futuro número cuatro (4).



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

Esta propuesta reúne en conjunto las tres (3) propuestas anteriores haciendo que tenga los mejores resultados de accesibilidad media global para la zona en estudio, los barrios beneficiados son 25 respecto del total de 36, lo que representa cerca del 70%, en la siguiente tabla se encuentra representado por cada barrio el promedio general de tiempo de viaje, la cantidad de personas que representa y su densidad población en habitantes por hectárea.

**Tabla 4-45:** Relación de barrios por curva isócrona promedio, población y densidad poblacional, escenario futuro número cuatro (4).

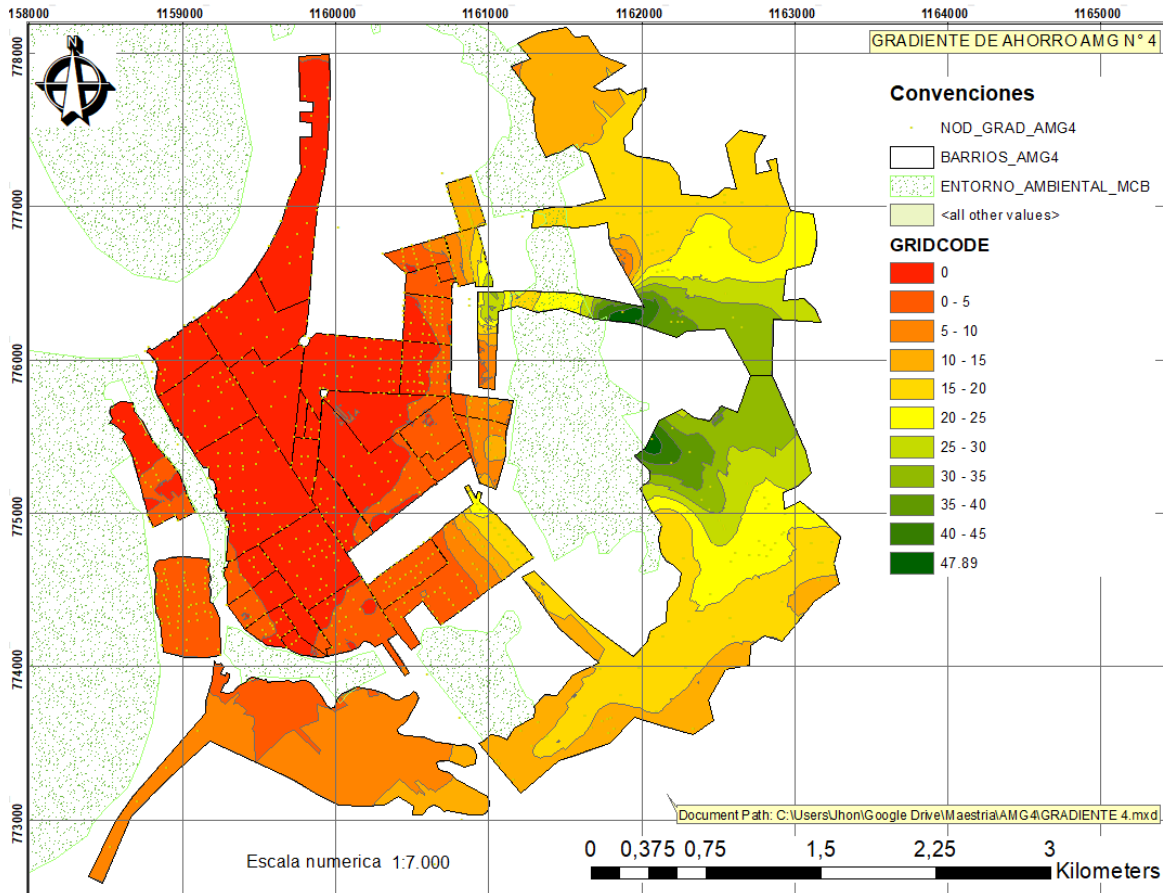
Barrio	Promedio general de tiempo de viaje (min).	Población (hab)	Densidad poblacional (Hab / ha)
SANTA ROSITA	5.00	687	64.90
SANTANDER	5.20	740	44.59
1 DE MAYO	5.33	591	83.37
VILLA ANGELA	5.43	270	55.33
LA GRANJA	5.44	2041	88.63
BELLO HORIZONTE	5.63	2206	70.47
VILLA DEL PARQUE	5.67	35	19.92
EL DORADO	5.75	1276	52.37
EL MODELO	5.88	2625	67.98
COOPSAGUA	6.00	628	61.46
EL DIVINO NIÑO	6.00	843	84.90
EL REMANSO	6.00	704	127.31
POPULAR	6.00	436	107.24
VILLA ANDREA	6.00	1111	107.83
VILLA DEL PRADO	6.00	57	33.07
LA ESPERANZA	6.08	811	41.95
PRADOS DE SAN SEBASTIÁN	6.14	973	101.30
EL TRIUNFO	6.29	1063	59.59
SAN JORGE	6.33	3961	109.69
BICENTENARIO	6.50	187	40.15
EL PROGRESO	6.50	440	90.08
LA PAZ	6.50	1540	165.69
SAN IGNACIO	6.50	393	81.18
EL PORVENIR	6.60	2556	113.69
LOS COMUNEROS	6.67	512	66.14
BELÉN DE LA PAZ	7.00	644	107.61
VILLA UNIÓN	7.00	135	52.80
EL CENTRO	7.50	635	25.24
SAN JOSÉ	7.50	279	50.15
1 DE OCTUBRE	8.00	843	74.19
20 DE JULIO	9.22	1655	46.62
PROVIDENCIA	9.57	996	55.01
VILLA ALEJANDRA BAJO	9.82	558	2.63
VILLA ALEJANDRA ALTO	10.31	663	3.46
Promedios generales	6.63	973.35	69.31

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.4.3 Cálculo de gradiente de ahorro escenario futuro número cuatro (4).

Con el objetivo de conocer el impacto que tiene la adición de infraestructura vial en el escenario futuro número cuatro (4) respecto al escenario actual, en la siguiente figura se puede apreciar las curvas isócronas con él porcentaje de ahorro obtenido.

**Figura 4-73:** Cálculo de gradiente de ahorro escenario futuro número cuatro (4).



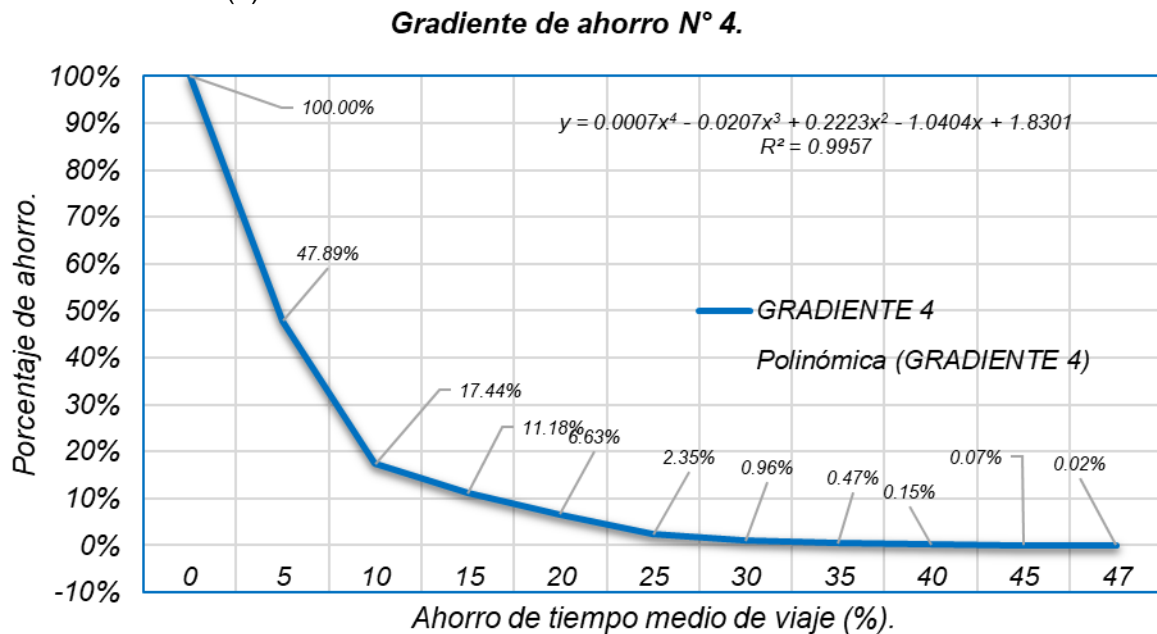
*Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.*

El porcentaje de gradiente de ahorro para esta propuesta arroja los mejores resultados de todas las propuestas evaluadas, gracias a su incidencia en la malla vial urbana principal y en las zonas de expansión urbana. En detalle presenta valores porcentuales de gradiente de ahorro de hasta el 48%, donde el 47.89% de la población equivalente a 17379 habitantes tienen una mejoría porcentual respecto al tiempo promedio de viaje del escenario actual de hasta el 5% en los barrios 1 de mayo, Comuneros, El progreso, El triunfo, Villa Andrea, San Jorge, Santa Rosita, Bello horizonte, Popular, Divino niño, Coopsagua, Santander, Santa rosita, El remanso, Bicentenario, Prados de san Sebastián, Belén de la paz, La paz, San José, Arazá, providencia, Villa Alejandra bajo y alto.

**Tabla 4-46:** Porcentaje de gradiente de ahorro en la población total, escenario cuatro (4).

Curva	Rango de ahorro (%)	Población (hab.)	Porcentaje (%)	Población total (%)
0	0	18912	52.11%	100.00%
5	(0 - 5)	11050	30.45%	47.89%
10	(5 - 10)	2269	6.25%	17.44%
15	(10 - 15)	1653	4.55%	11.18%
20	(15 - 20)	1555	4.29%	6.63%
25	(20 - 25)	503	1.39%	2.35%
30	(25 - 30)	177	0.49%	0.96%
35	(30 - 35)	115	0.32%	0.47%
40	(35 - 40)	32	0.09%	0.15%
45	(40 - 45)	17	0.05%	0.07%
47	(45 - 48)	7	0.02%	0.02%
<b>Total general</b>		<b>36290</b>	<b>100%</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-74:** Relación porcentual de gradiente de ahorro respecto a la población total, escenario cuatro (4).

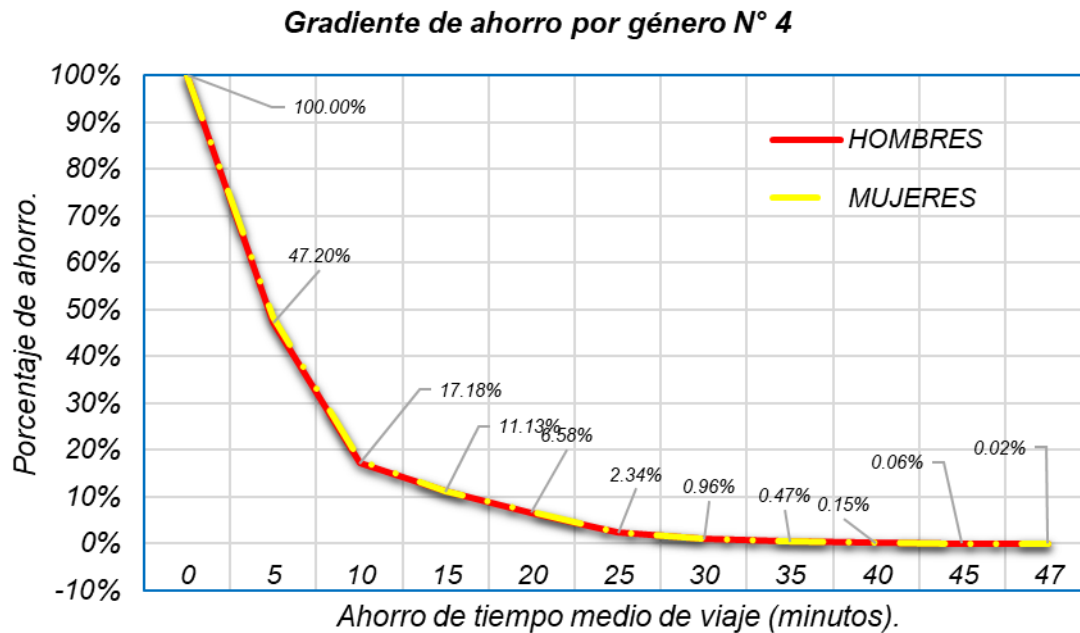
Fuente: Elaboración propia.

Esta alternativa presenta los mejores resultados de accesibilidad para el municipio, notándose un beneficio cercano a la mitad de la población con un gradiente de ahorro de por lo menos el 5% y en secuencia de hasta el 47% como se aprecia en la figura anterior gracias a la adición de infraestructura vial en proyectos estratégicos geográficamente.

**Tabla 4-47:** Porcentaje de gradiente de ahorro respecto a la población por género, escenario cuatro (4).

Curva	Rango de ahorro (%)	Suma de Hombres	Porcentaje (%)	Población hombres (%)	Suma de Mujeres	Porcentaje (%)	Población hombres (%)
0	0	9356	52.80%	100.00%	9556	51.46%	100.00%
5	(0 - 5)	5320	30.02%	47.20%	5730	30.86%	48.54%
10	(5 - 10)	1072	6.05%	17.18%	1197	6.45%	17.68%
15	(10 - 15)	807	4.55%	11.13%	846	4.56%	11.23%
20	(15 - 20)	752	4.24%	6.58%	803	4.32%	6.68%
25	(20 - 25)	243	1.37%	2.34%	260	1.40%	2.35%
30	(25 - 30)	87	0.49%	0.96%	90	0.48%	0.95%
35	(30 - 35)	57	0.32%	0.47%	58	0.31%	0.47%
40	(35 - 40)	16	0.09%	0.15%	16	0.09%	0.16%
45	(40 - 45)	8	0.05%	0.06%	9	0.05%	0.07%
47	(45 - 47)	3	0.02%	0.02%	4	0.02%	0.02%
Total general	36290	17721	100%		18569	100%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-75:** Relación porcentual de gradiente de ahorro respecto a la población total, escenario cuatro (4).

Fuente: Elaboración propia.

## 4.6 Análisis de accesibilidad media global en función de modos de transporte y nodos de actividad de actividad primaria.

### 4.6.1 Análisis de escenario, red peatonal.

#### 4.6.1.1 Matriz de tiempos de viaje.

Según procedimiento descrito en el capítulo 3.3 se desarrolló los cálculos de accesibilidad media global para la red de transporte dispuesta para el peatón, teniendo presente velocidad de caminata en sección 3.6.1. Enseguida se procede a dar ejecución del proceso del capítulo 3-19, para calcular a través del algoritmo de Dijkstra la matriz (tamaño nxn), en función de minimizar el tiempo de viaje (*Múltiple paths*) de todos los campos a todos los campos, siendo n igual novecientos seis (906) nodos de la red.

Figura 4-76: Matriz de tiempos de viaje para la red de transporte peatonal.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0.00	1.06	29.64	29.27	31.92	31.42	15.30	15.00	14.69	15.77	18.35	17.16	14.42	13.13	32.12
2	1.06	0.00	30.56	30.19	32.04	32.33	16.22	15.91	15.60	16.68	19.40	18.22	15.47	14.19	33.04
3	29.64	30.56	0.00	0.37	3.00	2.50	19.91	18.93	14.96	13.88	33.64	32.45	27.84	26.58	36.53
4	29.27	30.19	0.37	0.00	3.37	2.87	19.54	18.56	14.59	13.51	33.27	32.08	27.47	26.22	36.16
5	31.92	32.84	3.00	3.37	0.00	0.50	22.18	21.21	17.23	16.15	35.91	34.73	30.12	28.86	39.03
6	31.42	32.33	2.50	2.87	0.50	0.00	21.68	20.70	16.73	15.65	35.41	34.22	29.62	28.36	38.53
7	15.30	16.22	19.91	19.54	22.18	21.68	0.00	1.02	5.00	6.08	16.58	15.40	10.79	9.53	19.83
8	15.00	15.91	18.93	18.56	21.21	20.70	1.02	0.00	4.03	5.11	17.50	16.32	11.71	10.45	20.85
9	14.69	15.60	14.96	14.59	17.23	16.73	5.00	4.03	0.00	1.08	18.68	17.49	12.89	11.63	24.83
10	15.77	16.68	13.88	13.51	16.15	15.65	6.08	5.11	1.08	0.00	19.76	18.57	13.97	12.71	25.69
11	18.35	19.40	33.64	33.27	35.91	35.41	16.58	17.50	18.68	19.76	0.00	1.19	5.93	7.21	17.64
12	17.16	18.22	32.45	32.08	34.73	34.22	15.40	16.32	17.49	18.57	1.19	0.00	4.74	6.02	17.61
13	14.42	15.47	27.84	27.47	30.12	29.62	10.79	11.71	12.89	13.97	5.93	4.74	0.00	1.28	18.76
14	13.13	14.19	26.58	26.22	28.86	28.36	9.53	10.45	11.63	12.71	7.21	6.02	1.28	0.00	20.04
15	32.12	33.04	36.53	36.16	39.03	38.53	19.83	20.85	24.83	25.69	17.64	17.61	18.76	20.04	0.00
16	35.69	36.61	40.10	39.73	42.60	42.10	23.40	24.42	28.41	29.26	21.21	21.18	22.33	23.62	3.57
17	21.94	22.99	32.99	32.62	35.27	34.77	15.44	16.36	18.04	19.12	3.59	4.78	7.68	8.96	14.05
18	20.55	21.61	31.63	31.26	33.90	33.40	14.57	15.49	16.67	17.75	2.21	3.40	6.29	7.58	15.43
19	23.95	24.46	33.41	33.04	35.91	35.41	14.59	15.60	18.85	19.93	10.40	10.33	10.19	11.47	8.81
20	23.76	24.68	32.46	32.09	34.96	34.46	14.81	15.82	19.07	20.15	10.64	10.55	10.41	11.69	9.76
21	24.51	25.42	32.88	32.51	35.38	34.87	15.55	16.57	19.81	20.89	11.36	11.29	11.15	12.43	7.85
22	25.41	26.33	31.91	31.54	34.41	33.91	15.22	16.23	20.22	21.07	12.29	12.29	12.05	13.34	8.38
23	35.30	36.22	38.15	37.78	40.65	40.15	22.04	23.06	27.05	27.90	23.46	23.41	23.27	24.55	10.26
24	36.08	36.99	38.93	38.56	41.43	40.93	22.82	23.84	27.82	28.68	24.24	24.19	24.05	25.33	11.04
25	26.41	27.33	33.05	32.68	35.55	35.05	16.35	17.37	21.35	22.21	11.94	11.90	13.06	14.34	5.70
26	26.00	26.91	32.29	31.92	34.79	34.29	15.59	16.61	20.60	21.45	12.71	12.68	12.64	13.92	6.36
27	16.54	17.45	26.15	25.78	28.43	27.92	6.24	7.26	11.25	12.33	16.25	15.07	10.46	9.20	16.55
28	14.80	15.71	24.73	24.36	27.01	26.51	4.82	5.84	9.83	10.91	14.51	13.33	8.72	7.46	18.29
29	19.83	20.75	30.09	29.72	32.37	31.87	11.65	12.57	15.14	16.22	9.52	8.33	6.47	7.76	12.53
30	19.34	20.25	29.60	29.23	31.88	31.37	11.15	12.07	14.64	15.72	10.90	9.71	6.11	7.40	13.35
31	20.32	21.23	27.09	26.72	29.59	29.09	7.76	8.77	12.76	13.84	14.61	13.43	10.17	11.45	13.25
32	18.79	19.71	25.73	25.36	28.23	27.73	6.28	7.30	11.29	12.37	15.09	13.90	10.64	11.46	14.77
33	28.96	29.88	27.85	27.48	30.35	29.85	14.96	15.97	19.34	18.29	28.04	26.85	23.60	23.19	17.90
34	29.95	30.87	28.84	28.47	31.34	30.84	15.95	16.96	20.33	19.28	29.09	27.91	24.65	24.18	18.96
35	28.47	29.39	27.36	26.99	29.86	29.36	14.47	15.48	18.85	17.80	28.53	27.35	23.96	22.70	18.40
36	29.48	30.40	28.37	28.00	30.87	30.37	15.48	16.50	19.87	18.82	29.56	28.37	24.97	23.71	19.43
Sum	23693.86	24512.29	23374.11	23095.36	25411.06	24956.15	14504.34	14887.35	15997.31	16062.95	20344.22	19668.51	17433.84	17377.04	18816.68

Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

El resultado del cálculo numérico permite determinar que la matriz está equilibrada, es decir que el tiempo que emplea un nodo *i* en ir al resto de los nodos es igual al total del tiempo que emplean todos los nodos en ir al nodo *i*, ahora bien el resultado que nos interesa son los marginales totales, de los cuales escogemos la sumatoria de filas porque

el análisis busca encontrar los tiempos de cada nodo al resto de la red. Continuamos correlacionando los nodos de TransCAD para asegurar su correspondencia geográfica efectiva y posteriormente se promedió dividiendo la sumatoria de tiempo de cada nodo entre el número total de estos menos uno (1). A continuación se muestran algunos de los resultados obtenidos.

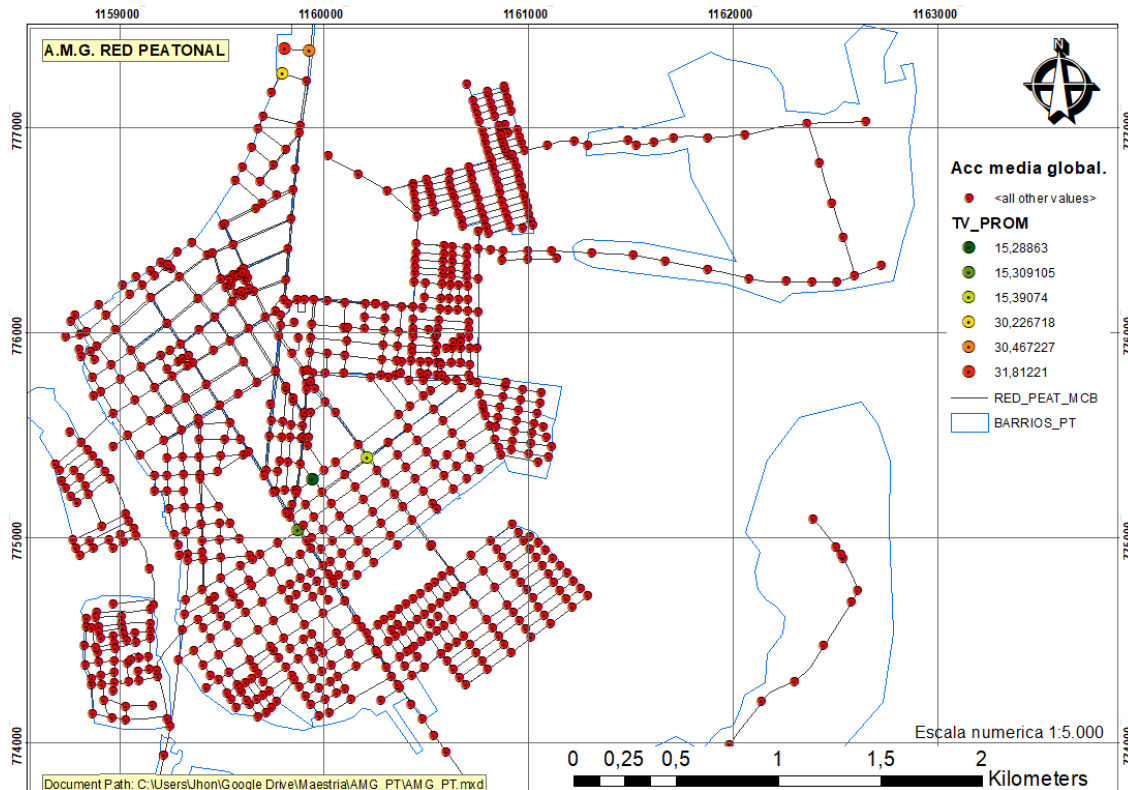
4.6.1.2 Vector de tiempo medio de viaje, red peatonal.

**Tabla 4-48:** Segmento de datos, vector medio de tiempo de viaje para red peatonal.

ID	LONGITUD	LATITUD	SUM	TV_PROMEDIO
1	-72.64112	2.577104	23693	26.18
2	-72.64057	2.577767	24512	27.08
3	-72.63045	2.576961	23374	25.82
4	-72.63035	2.576671	23095	25.51
5	-72.63093	2.578869	25411	28.07
6	-72.6308	2.578476	24956	27.57
n-1	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

**Figura 4-77:** Shapefile nodos vector medio tiempo de viaje, mínimos y máximos red peatonal.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

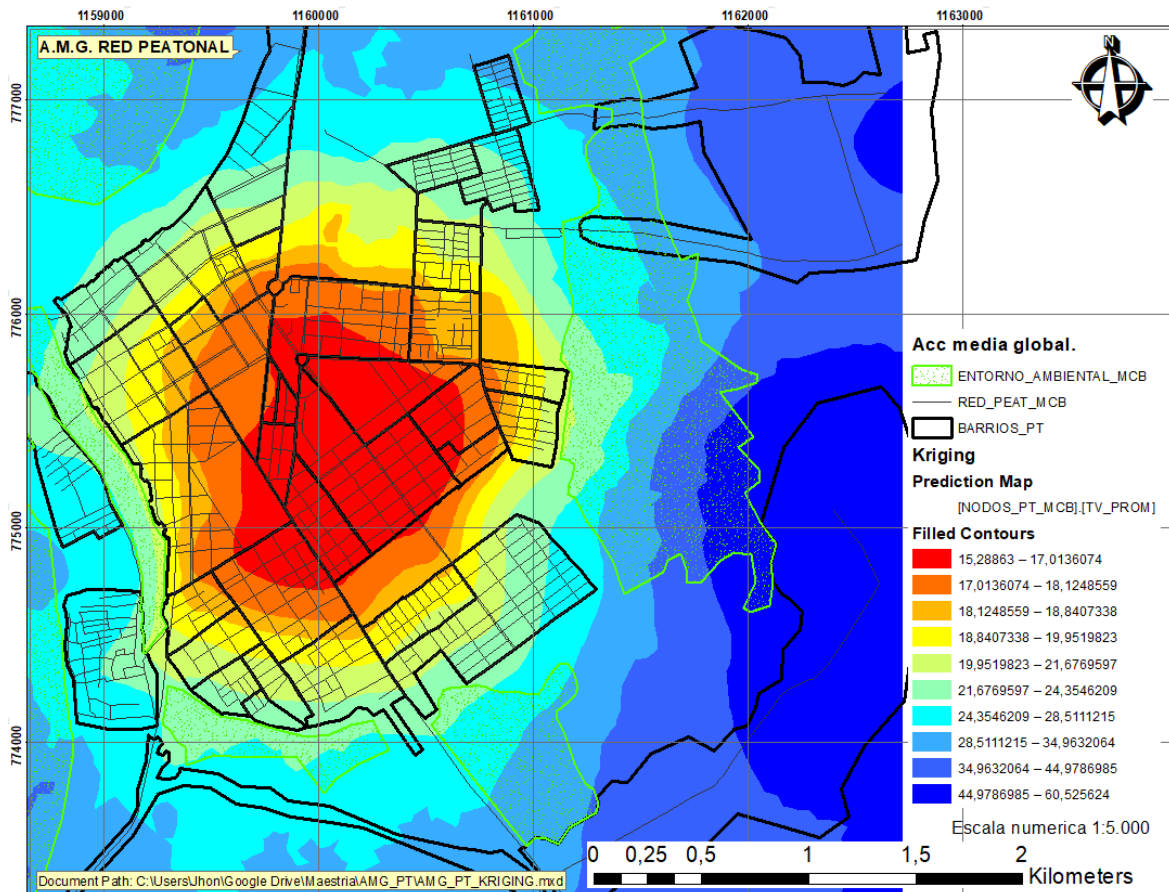


#### 4.6.1.3 Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas de la red peatonal.

La red está compuesta por 906 nodos y 1501 arcos, los cuales suman una longitud total (L) de 130.3 km en un rango de extensión lineal que va desde los 8.70 hasta 325 m, con promedio de 86.81 m y una desviación estándar de 48.76 m.

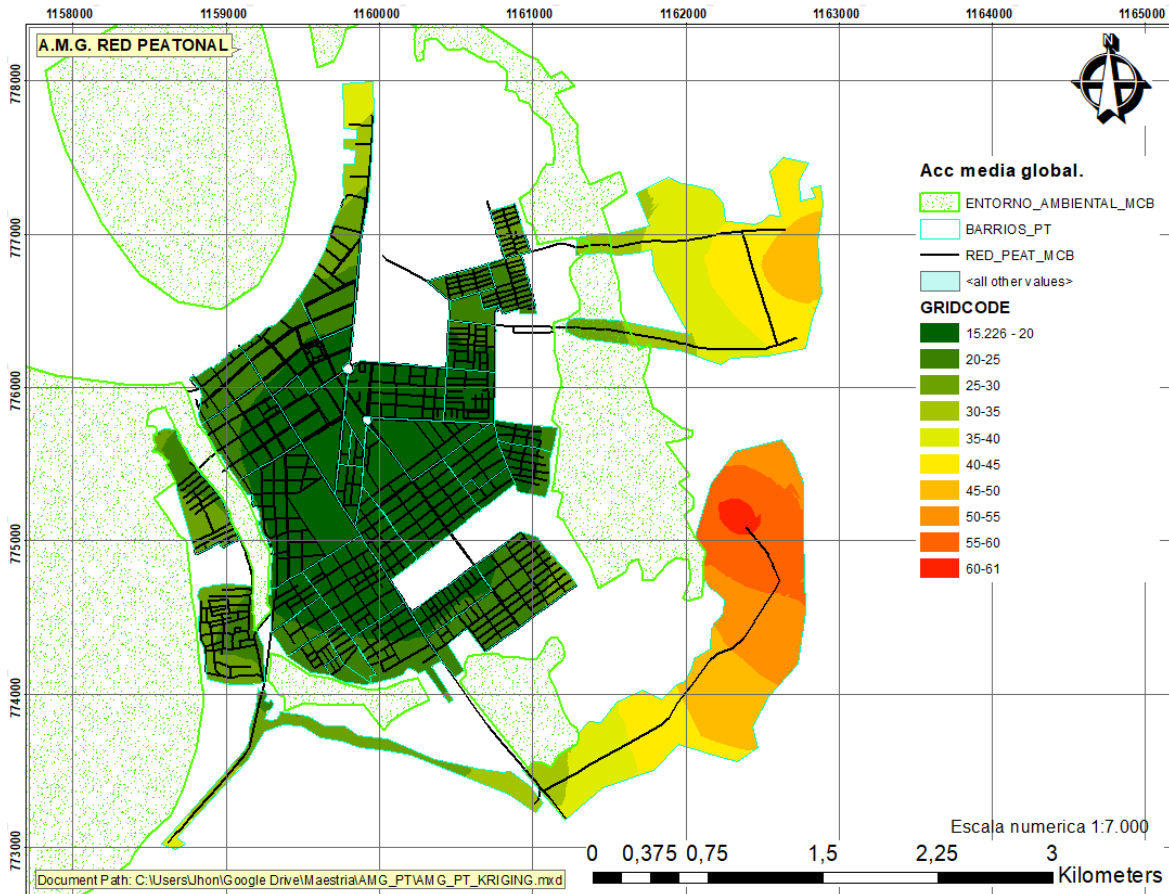
El siguiente resultado nos indica gráficamente su comportamiento y nos permite inferir de manera preliminar las zonas con menor accesibilidad.

**Figura 4-78:** Resultado de Kriging ordinario y predictivo, red peatonal.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

De acuerdo con el procedimiento establecido por la metodología en los capítulos [3.1](#), [3.2](#) y [3.3](#), se obtuvo los resultados del cálculo de la accesibilidad media global según curvas isócronas.

**Figura 4-79:** Mapa curvas isócronas, accesibilidad media global según red peatonal.

Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

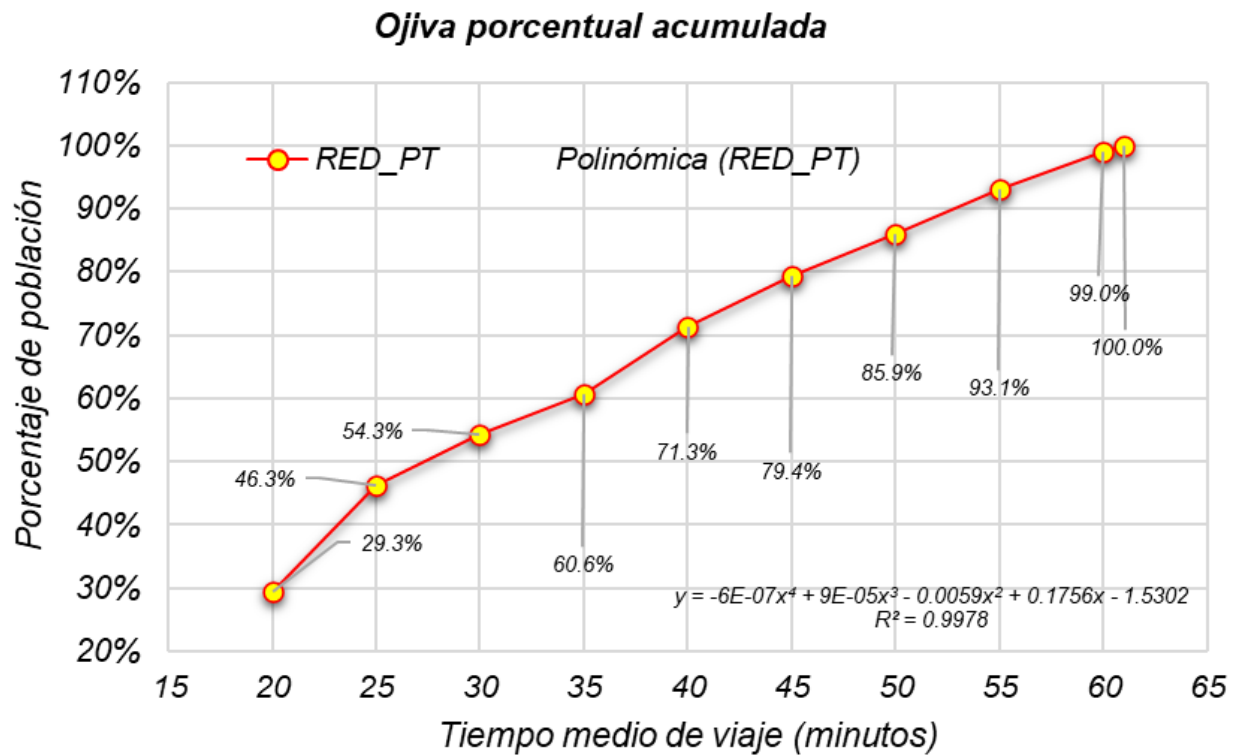
La red peatonal existente presenta condiciones de accesibilidad media global para la población del municipio con curva isócrona predominante de 20 minutos en el polígono urbano principal destacándose el acceso a todos los nodos de actividad primaria, las zonas que se vieron castigadas con curvas isócronas de hasta 60 minutos corresponden exclusivamente a las zonas de expansión urbana y su comportamiento obedece a la gran distancia que tienen que recorrer respecto de la mayoría de los nodos, en síntesis es claro que se tienen buenos tiempos promedio de viaje en la mayoría de la red y que las propuestas de intervención de adición de infraestructura vial desarrolladas en los capítulos [4.5.2](#) y [4.5.3](#) contribuirán en gran medida a conectar peatonalmente las zonas más distantes de los sectores de Villa Alejandra bajo y alto con el resto del municipio.

**Tabla 4-49:** Porcentaje de área cubierta por curvas isócronas para la red peatonal.

Curva isócrona	Rango (min)	Área cubierta (ha.)	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
20	15.2-20	263.05	29.33%	29.33%
25	(20 - 25)	152.06	16.95%	46.28%
30	(25 - 30)	72.27	8.06%	54.33%
35	(30 - 35)	56.44	6.29%	60.63%
40	(35 - 40)	95.54	10.65%	71.28%
45	(40 - 45)	73.07	8.15%	79.42%
50	(45 - 50)	58.18	6.49%	85.91%
55	(50 - 55)	64.67	7.21%	93.12%
60	(55 - 60)	53.12	5.92%	99.04%
61	(60 - 61)	8.59	0.96%	100.00%
Total general		896.98	100%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-80:** Ojiva porcentual acumulada de área cubierta para la red peatonal.

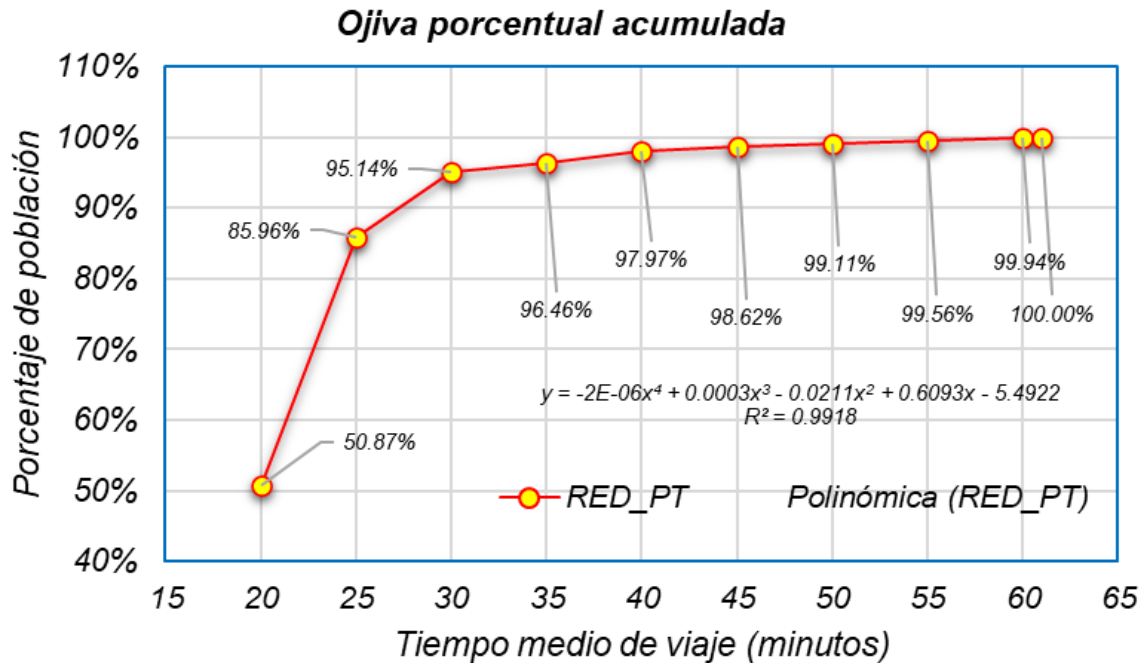


Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-50:** Porcentaje de población total cubierta por las curvas isócronas para la red peatonal.

<b>Curva isócrona</b>	<b>Rango (min)</b>	<b>Población cubierta (hab.)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Porcentaje acumulado (%)</b>
20	15.2-20	18460	50.87%	50.87%
25	(20 - 25)	12734	35.09%	85.96%
30	(25 - 30)	3334	9.19%	95.14%
35	(30 - 35)	479	1.32%	96.46%
40	(35 - 40)	546	1.50%	97.97%
45	(40 - 45)	237	0.65%	98.62%
50	(45 - 50)	176	0.48%	99.11%
55	(50 - 55)	166	0.46%	99.56%
60	(55 - 60)	136	0.375%	99.94%
61	(60 - 61)	22	0.061%	100%
<b>Total general</b>		<b>36291</b>	<b>100%</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-81:** Ojiva porcentual acumulada de población cubierta para la red peatonal.

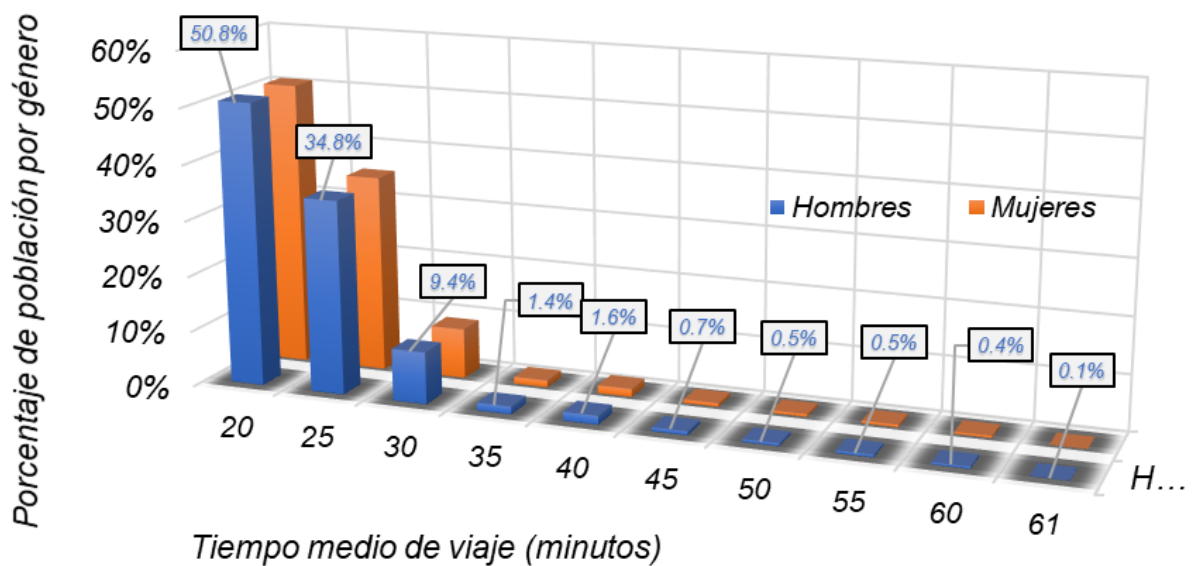
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-51:** Porcentaje de población por genero cubierta por las curvas isócronas para la red peatonal.

Curva isócrona	Rango (min)	Suma de Hombres	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)	Suma de Mujeres	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
20	15.2-20	9003	50.80%	50.80%	9457	50.93%	50.93%
25	(20 - 25)	6169	34.81%	85.62%	6565	35.35%	86.28%
30	(25 - 30)	1659	9.36%	94.98%	1675	9.02%	95.30%
35	(30 - 35)	247	1.39%	96.37%	232	1.25%	96.55%
40	(35 - 40)	279	1.57%	97.95%	267	1.44%	97.99%
45	(40 - 45)	119	0.67%	98.62%	118	0.64%	98.63%
50	(45 - 50)	87	0.49%	99.11%	89	0.48%	99.11%
55	(50 - 55)	81	0.46%	99.565%	85	0.46%	99.56%
60	(55 - 60)	66	0.37%	99.94%	70	0.377%	99.94%
61	(60 - 61)	11	0.06%	100%	11	0.059%	100%
<i>Total general</i>		36290	100%		18569	100%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-82:** Porcentaje de población cubierta por género en la red peatonal.

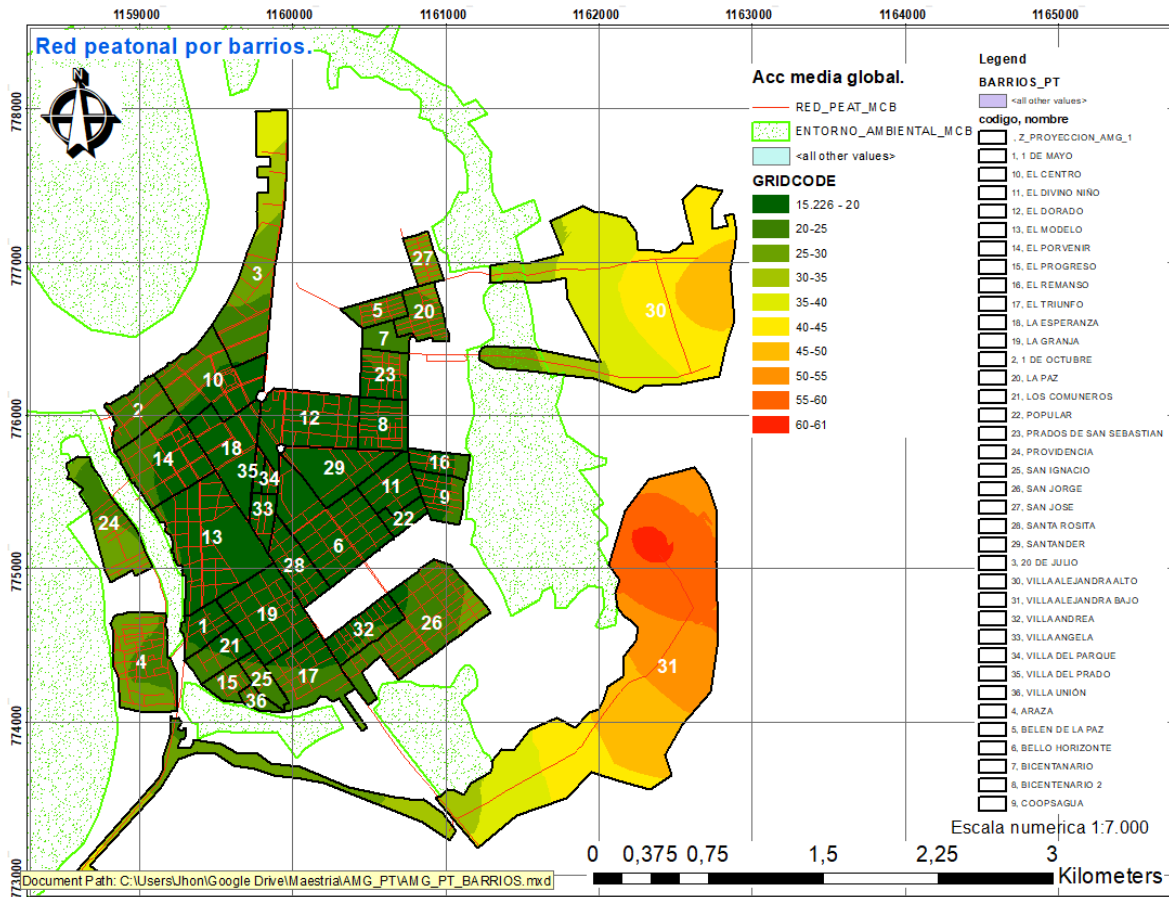


Fuente: Elaboración propia.

4.6.1.4 Curvas isócronas en relación con la variable geográfica de barrios, red peatonal.

De acuerdo con el procedimiento descrito en el capítulo 3.4.1 se realiza una intersección entre la información del polígono de las curvas isócronas de accesibilidad y el polígono de barrios para generar la cobertura de las curvas con la población de los diferentes barrios.

Figura 4-83: Mapa de análisis de cobertura espacial para la red peatonal por barrios.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

Los barrios con mejor accesibilidad territorial en función de la red peatonal son Bello Horizonte, Bicentenario 2, El Divino Niño, El Dorado, La Esperanza, Popular, Santa Rosita, Santander, Villa Angela, Villa del Parque, Villa del Prado con curva isócrona de 20 minutos, mientras que 20 de Julio y San José presentan tiempos promedio de viaje de 31.67% y 33.33% aun estando dentro del polígono urbano principal. Caso aporte son los sectores de expansión urbana de Villa Alejandra Alto y bajo castigados con tiempos promedio de viaje de 38.85% y 53.07% respectivamente, gracias a los viajes que se deben realizar en zonas donde se requiere recorrer distancias de hasta 1 km para llegar a otro barrio.

**Tabla 4-52:** Relación de barrios por curva isócrona promedio, población y densidad poblacional para la red peatonal.

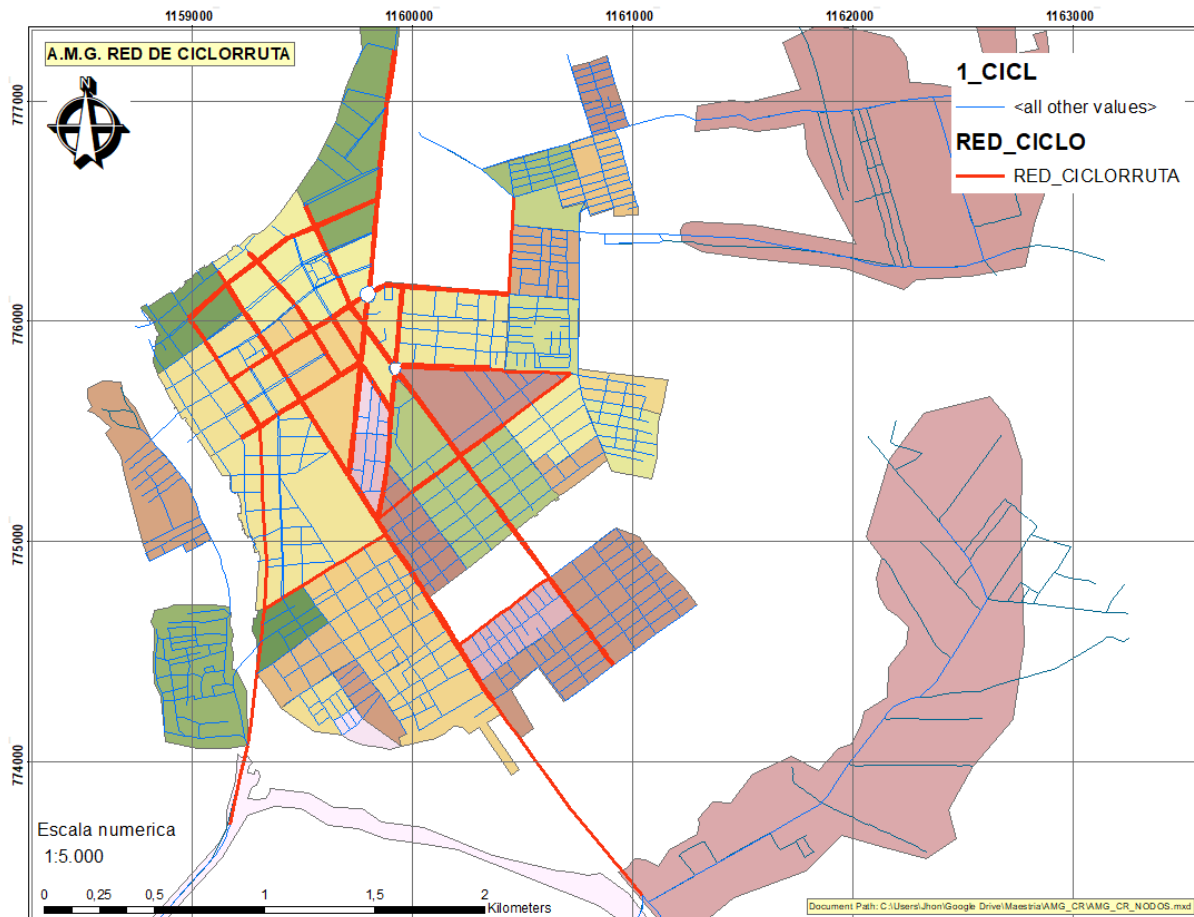
<b>BARRIO.</b>	<b>PROMEDIO GENERAL DE TIEMPO DE VIAJE (MIN).</b>	<b>POBLACIÓN (HAB).</b>	<b>DENSIDAD POBLACIONAL (HAB / HA).</b>
BELLO HORIZONTE	20.00	2206	352.36
BICENTENARIO 2	20.00	1003	361.97
EL DIVINO NIÑO	20.00	843	339.58
EL DORADO	20.00	1276	159.80
LA ESPERANZA	20.00	811	83.89
POPULAR	20.00	436	321.71
SANTA ROSITA	20.00	687	259.61
SANTANDER	20.00	740	89.18
VILLA ANGELA	20.00	270	110.66
VILLA DEL PARQUE	20.00	35	39.84
VILLA DEL PRADO	20.00	57	99.21
COOPSAGUA	21.25	628	299.25
EL REMANSO	21.67	704	381.93
LA GRANJA	21.67	2041	531.78
EL PORVENIR	22.00	2556	568.43
EL MODELO	22.14	2625	475.88
LOS COMUNEROS	22.50	512	132.28
PRADOS DE SAN SEBASTIÁN	22.50	973	202.59
1 DE MAYO	23.33	591	250.11
EL CENTRO	23.33	635	227.20
VILLA ANDREA	23.33	1111	970.51
SAN IGNACIO	23.57	393	568.27
SAN JORGE	24.00	3961	564.51
EL TRIUNFO	24.17	1063	357.56
1 DE OCTUBRE	25.00	843	74.19
BELÉN DE LA PAZ	25.00	644	107.61
BICENTENARIO	25.00	187	40.15
EL PROGRESO	25.00	440	180.15
VILLA UNIÓN	25.00	135	105.60
PROVIDENCIA	26.15	996	728.88
ARAZÁ	27.50	2193	547.64
LA PAZ	27.50	1540	331.39
Z_PROYECCION_AMG_1	30.94	0.00	0.00
20 DE JULIO	31.67	1655	279.71
SAN JOSÉ	33.33	279	150.46
VILLA ALEJANDRA ALTO	38.85	663	44.61
VILLA ALEJANDRA BAJO	53.07	558	47.97

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.2 Análisis de escenario, red ciclorruta.

El diseño de la red vial dispuesta para este modo de transporte está distribuido de tal forma que permita conectar todos los sectores de la ciudad de forma cíclica, lo cual permite realizar desplazamientos a cualquier parte de forma segura sin interrupciones en el sistema.

**Figura 4-84:** Diseño vial red de ciclorruta.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

##### 4.6.2.1 Matriz de tiempos de viaje.

Según procedimiento descrito en el capítulo [3.3](#) se desarrolló los cálculos de accesibilidad media global para la red de ciclorruta, teniendo presente la velocidad promedio dada en sección [3.6.2](#). Luego se calcula usando el algoritmo de Dijkstra la matriz (tamaño nxn), en función de minimizar el tiempo de viaje (*Múltiple paths*) de todos los campos a todos los campos, siendo n igual novecientos seis (906) nodos de la red.



**Figura 4-85:** Matriz de tiempos de viaje para la red de transporte de ciclorruta.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Sum
1	0.00	1.06	17.13	16.76	19.40	18.90	6.90	7.06	6.81	7.89	9.36	8.17	6.57	11395.20
2	1.06	0.00	16.07	15.70	18.34	17.84	5.84	6.00	5.75	6.83	8.30	7.12	5.52	10450.01
3	17.13	16.07	0.00	0.37	3.00	2.50	13.05	13.51	10.32	9.24	18.67	17.48	15.19	14832.70
4	16.76	15.70	0.37	0.00	3.37	2.87	12.68	13.14	9.95	8.87	18.30	17.11	14.82	14553.95
5	19.40	18.34	3.00	3.37	0.00	0.50	15.33	15.79	12.59	11.51	20.94	19.76	17.47	16762.51
6	18.90	17.84	2.50	2.87	0.50	0.00	14.82	15.28	12.09	11.01	20.44	19.25	16.97	16307.61
7	6.90	5.84	13.05	12.68	15.33	14.82	0.00	1.02	3.03	3.88	6.78	5.59	3.31	6955.76
8	7.06	6.00	13.51	13.14	15.79	15.28	1.02	0.00	3.19	4.27	7.46	6.27	3.99	7681.18
9	6.81	5.75	10.32	9.95	12.59	12.09	3.03	3.19	0.00	1.08	8.35	7.16	4.87	8096.82
10	7.89	6.83	9.24	8.87	11.51	11.01	3.88	4.27	1.08	0.00	9.43	8.24	5.95	8500.96
11	9.36	8.30	18.67	18.30	20.94	20.44	6.78	7.46	8.35	9.43	0.00	1.19	4.16	10264.78
12	8.17	7.12	17.48	17.11	19.76	19.25	5.59	6.27	7.16	8.24	1.19	0.00	2.98	9288.04
13	6.57	5.52	15.19	14.82	17.47	16.97	3.31	3.99	4.87	5.95	4.16	2.98	0.00	7622.04
14	7.09	6.03	15.69	15.32	17.97	17.46	3.81	4.48	5.37	6.45	5.45	4.26	1.28	8436.59
15	11.26	10.20	18.78	18.41	21.06	20.55	5.78	6.80	8.46	9.54	7.17	5.98	5.02	8387.42
16	12.21	11.15	19.73	19.36	22.00	21.50	6.73	7.74	9.41	10.49	8.12	6.93	5.96	9144.90
17	10.41	9.35	18.47	18.10	20.75	20.25	6.49	7.17	8.16	9.24	3.59	4.78	4.00	9828.06
18	10.02	8.96	18.11	17.74	20.38	19.88	6.22	6.90	7.79	8.87	2.21	3.40	3.60	9797.56
19	9.96	8.90	17.48	17.11	19.75	19.25	5.50	6.17	7.16	8.24	5.87	4.68	3.71	8674.29
20	10.91	9.85	18.43	18.06	20.70	20.20	6.45	7.12	8.11	9.19	6.82	5.63	4.66	9238.36
21	10.35	9.29	17.87	17.50	20.15	19.64	5.89	6.57	7.55	8.63	6.26	5.07	4.11	8718.71
22	11.32	10.26	18.83	18.47	21.11	20.61	6.62	7.53	8.52	9.60	7.23	6.04	5.07	9150.55
23	16.01	14.95	23.25	22.88	25.53	25.02	10.24	11.26	12.93	14.01	13.89	12.70	10.44	12017.41
24	16.79	15.73	24.03	23.66	26.30	25.80	11.02	12.04	13.71	14.79	14.67	13.48	11.22	12721.05
25	9.75	8.69	17.27	16.90	19.54	19.04	5.28	5.96	6.95	8.03	5.66	4.47	3.50	7875.69
26	10.52	9.46	18.04	17.67	20.32	19.81	6.06	6.74	7.72	8.80	6.43	5.25	4.28	8568.87
Sum	11395.47	10450.29	14832.71	14553.96	16762.52	16307.62	6955.78	7681.20	8096.83	8500.96	10264.78	9288.04	7622.04	9862884.23

Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Los valores numéricos resultantes permiten inferir que la matriz es simétrica, es decir que el tiempo que emplea un nodo *i* en ir al resto de los nodos es igual al total del tiempo que emplean todos los nodos en ir al nodo *i*, ahora bien el resultado que nos interesa son los marginales totales, de los cuales escogemos la sumatoria de filas porque el análisis busca encontrar los tiempos de cada nodo al resto de la red. Luego, se procedió a la correlación con los nodos en TransCAD para asegurar su correspondencia geográfica efectiva y posteriormente se promedió dividiendo la sumatoria de tiempo de cada nodo entre el número total de estos menos uno (1). A continuación se muestra un segmento de los resultados obtenidos.

4.6.2.2 Vector de tiempo medio de viaje, red de ciclorruta.

**Tabla 4-53:** Segmento de datos de vector medio de tiempo de viaje, red ciclorruta.

ID	LONGITUD	LATITUD	SUM	TV_PROMEDIO
1	-72.641118	2.577104	11395.2	12.5913
2	-72.640566	2.577767	10450.01	11.5469
3	-72.630446	2.576961	14832.7	16.3897
4	-72.630353	2.576671	14553.95	16.0817
5	-72.630928	2.578869	16762.51	18.5221
6	-72.630796	2.578476	16307.61	18.0194
7	-72.638871	2.567911	6955.76	7.6859
n-1	-	-	-	-

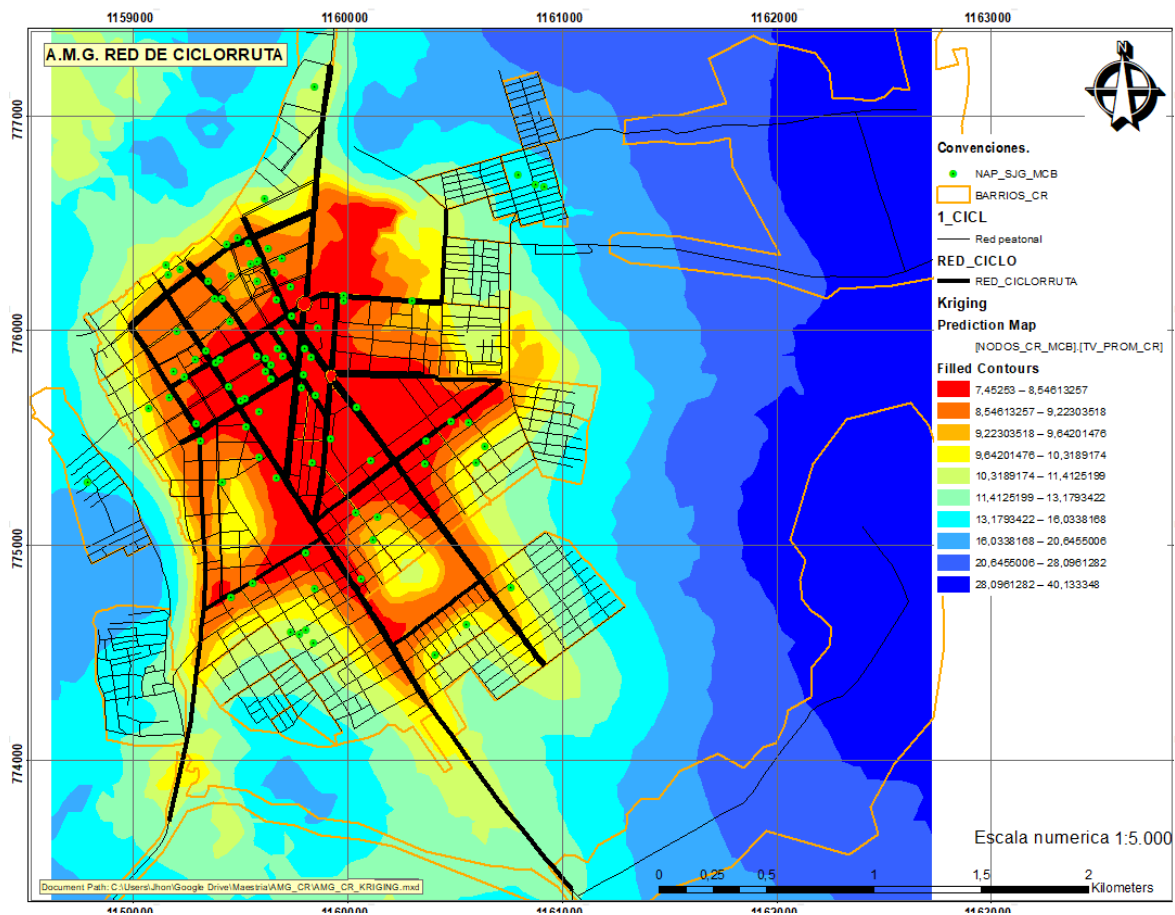
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

#### 4.6.2.3 Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas para la red de ciclorruta.

La red está compuesta por 906 nodos y 1501 arcos, los cuales suman una longitud total (L) de 130.3 km en un rango de extensión lineal que va desde los 8.70 hasta 325 m, con promedio de 86.81 m y una desviación estándar de 48.76 m.

Ulteriormente se obtiene un mapa predictivo en función del tiempo promedio de viaje que nos indica gráficamente su comportamiento y nos permite inferir de manera preliminar las zonas con menor accesibilidad.

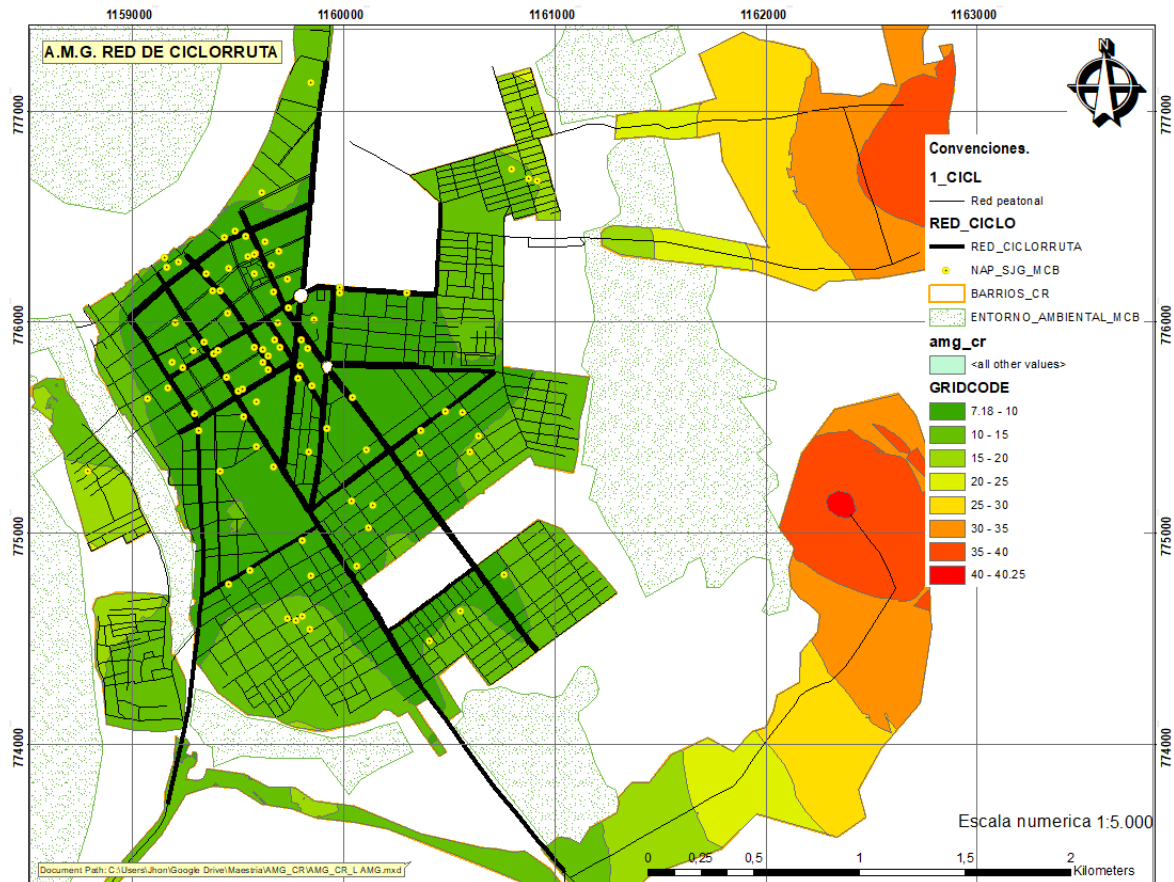
**Figura 4-86:** Resultado de Kriging ordinario y predictivo, red de ciclorruta.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

De acuerdo con el procedimiento establecido por la metodología en los capítulos [3.1](#), [3.2](#) y [3.3](#), se obtuvo los resultados del cálculo de la accesibilidad media global según curvas isócronas.

**Figura 4-87:** Mapa de curvas isócronas de accesibilidad media global según red de ciclorruta.



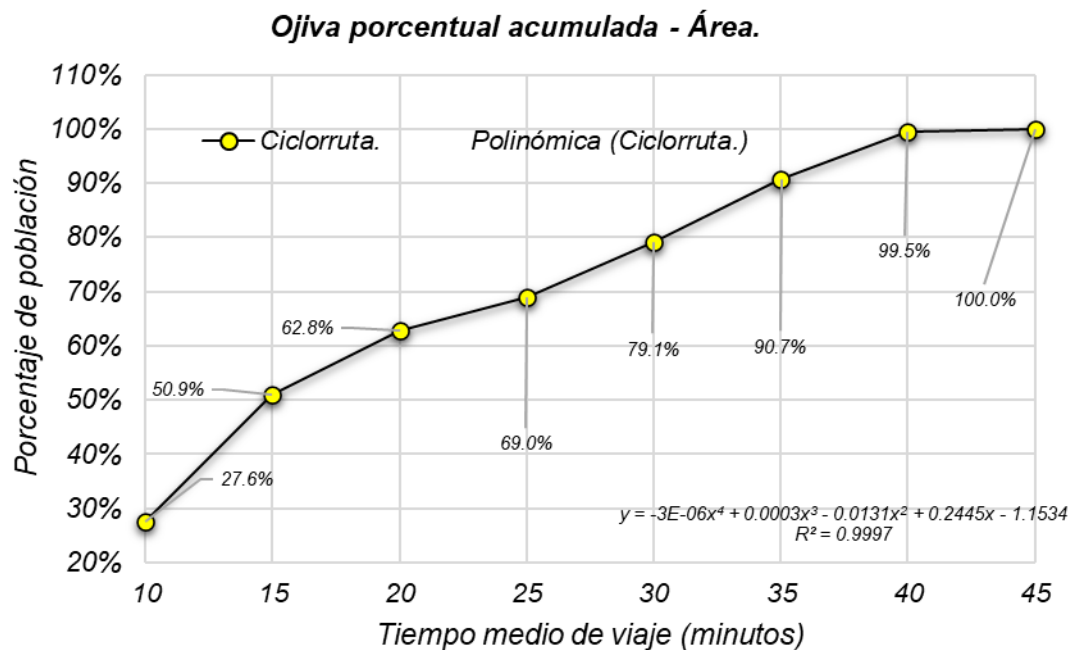
Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

El trazado de la red de ciclorruta se distribuyó en el polígono urbano principal abarcando la mayoría de los barrios y garantizando el paso por todos los nodos de actividad primaria, con lo cual se evidencia que la menor curva isócrona es de 7.18 a 10 minutos y cubre el 27.61% del área en estudio y el 46.3% de la población urbana total, seguida de la curva isócrona de 10 a 15 minutos que cubre el 50.88% del área en estudio y el 89.54% de la población urbana total, luego la curva isócrona de 15 a 20 minutos cubre el 62.79% del área en estudio y el 96.9% de la población urbana total. Estas tres (3) curvas cubren la mayor parte de la población por lo que se considera que 20 minutos es el tiempo máximo que se requiere en el municipio para llegar a cualquier sitio usando bicicleta, teniendo presente la excepción de la zona de expansión urbana del sector de Villa Alejandra, la cual debe desarrollar en primera medida su infraestructura vial como se propone en los capítulos [4.5.2](#) y [4.5.3](#) contribuyendo en gran medida a conectar en todos los modos de transporte estas zonas distantes.

**Tabla 4-54:** Porcentaje de área cubierta por las curvas isócronas, red de ciclorruta.

Curva isócrona	Rango (min)	Área cubierta (ha.)	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
10	7.18 - 10	268.32	27.61%	27.61%
15	(10 - 15)	226.21	23.27%	50.88%
20	(15 - 20)	115.80	11.91%	62.79%
25	(20 - 25)	60.61	6.24%	69.03%
30	(25 - 30)	97.55	10.04%	79.07%
35	(30 - 35)	113.56	11.68%	90.75%
40	(35 - 40)	84.98	8.74%	99.49%
45	(40 - 40.25)	4.94	0.51%	100.00%
Total general		971.96	100%	

Fuente: Elaboración propia.

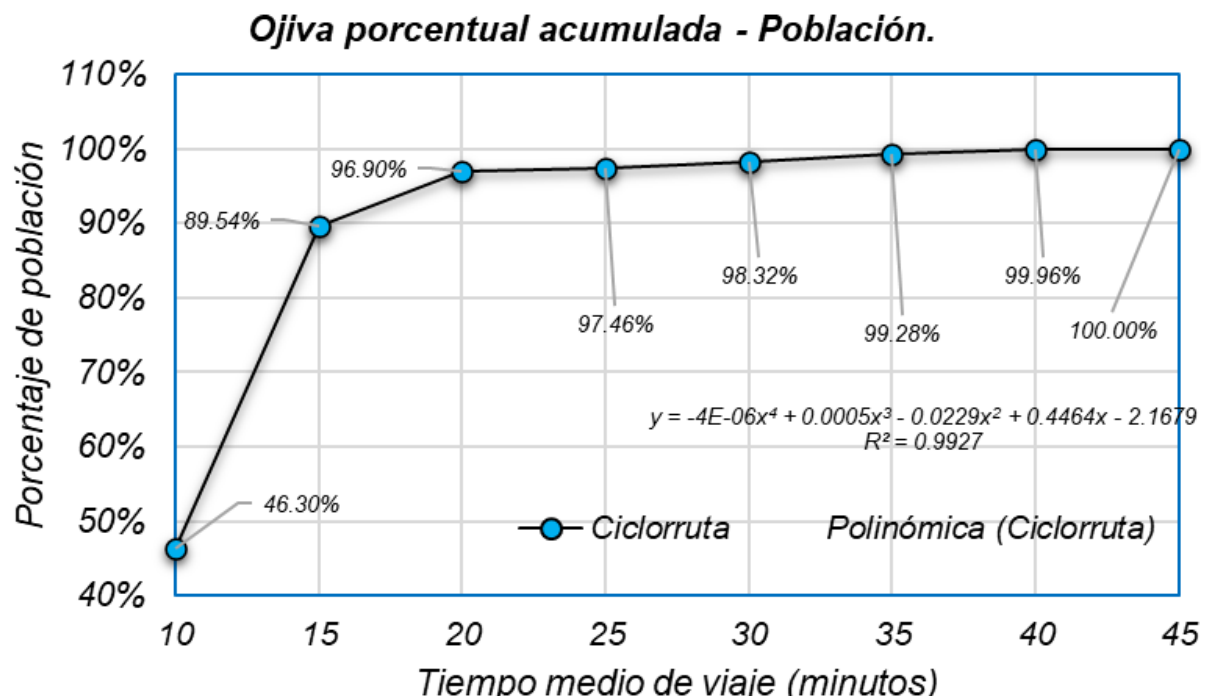
**Figura 4-88:** Ojiva porcentual acumulada de área cubierta para la red de ciclorruta.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-55:** Porcentaje de población total cubierta por las curvas isócronas para la red de ciclorruta.

<b>Curva isócrona</b>	<b>Rango (min)</b>	<b>Población cubierta (hab.)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Porcentaje acumulado (%)</b>
10	7.18 - 10	16802	46.30%	46.30%
15	(10 - 15)	15691	43.24%	89.54%
20	(15 - 20)	2673	7.37%	96.90%
25	(20 - 25)	201	0.55%	97.46%
30	(25 - 30)	314	0.87%	98.32%
35	(30 - 35)	346	0.95%	99.28%
40	(35 - 40)	250	0.69%	99.96%
45	(40 - 40.25)	13	0.04%	100%
<b>Total general</b>		36290	100%	

Fuente: Elaboración propia.

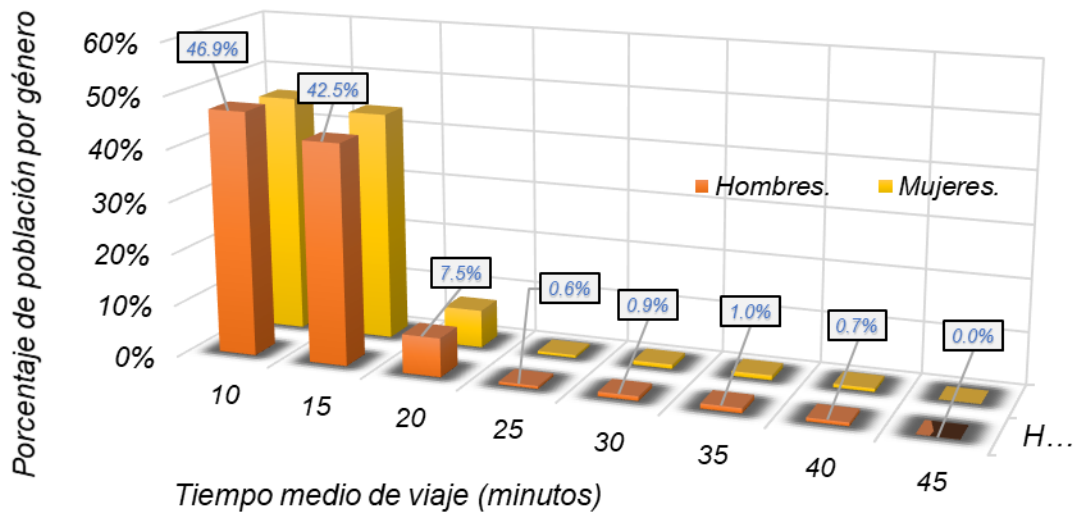
**Figura 4-89:** Ojiva porcentual acumulada, población cubierta para red de ciclorruta.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-56:** Porcentaje de población por género cubierta por las curvas isócronas para la red de ciclorruta.

Curva isócrona	Rango (min)	Suma de Hombres	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)	Suma de Mujeres	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
10	7.18 - 10	8315	46.92%	46.92%	8487	45.71%	45.71%
15	(10 - 15)	7524	42.46%	89.37%	8167	43.98%	89.69%
20	(15 - 20)	1323	7.47%	96.84%	1350	7.27%	96.96%
25	(20 - 25)	101	0.57%	97.41%	100	0.54%	97.50%
30	(25 - 30)	157	0.89%	98.30%	157	0.85%	98.35%
35	(30 - 35)	172	0.97%	99.27%	174	0.94%	99.28%
40	(35 - 40)	124	0.70%	99.97%	126	0.68%	99.96%
45	(40-40.25)	6	0.03%	100%	7	0.04%	100%
<b>Total general</b>		<b>36290</b>	<b>100%</b>		<b>18568</b>	<b>100%</b>	

Fuente: Elaboración propia.

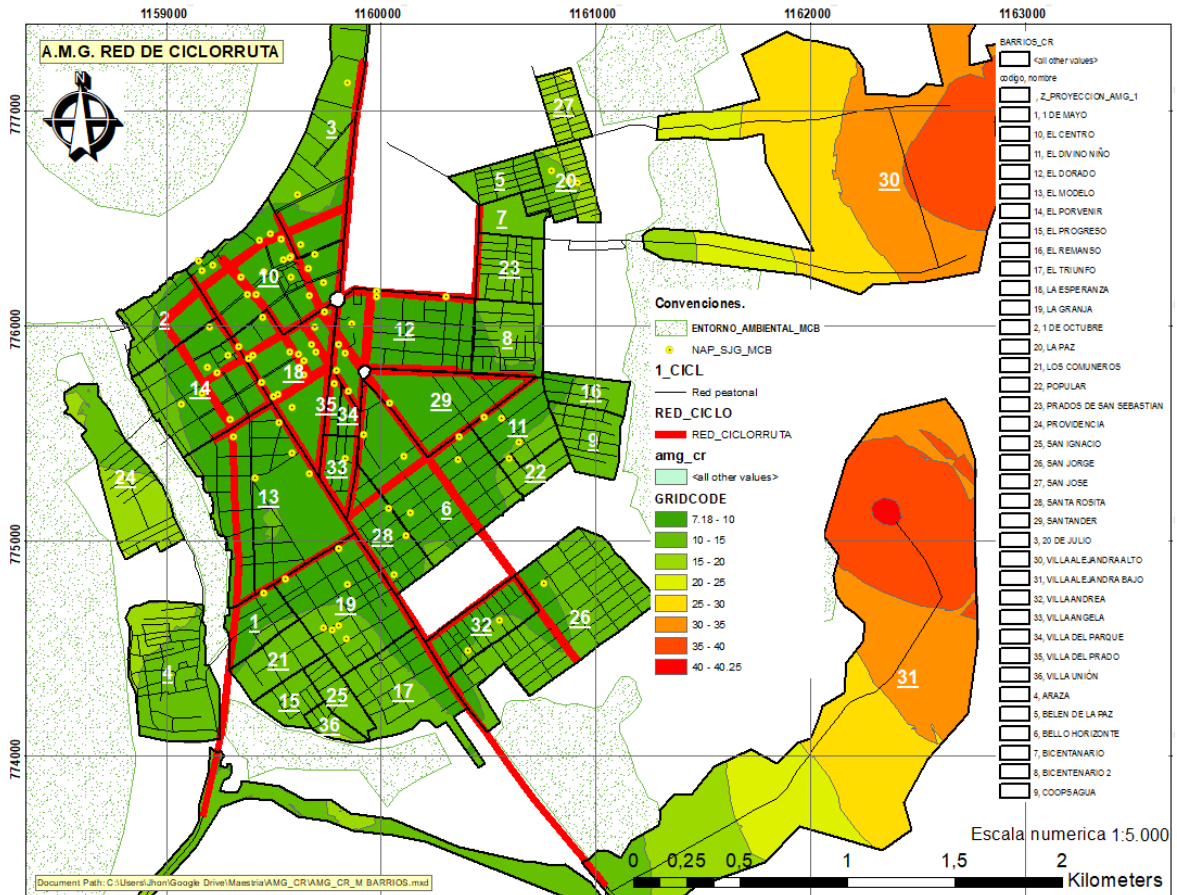
**Figura 4-90:** Porcentaje de población cubierta por género en la red de ciclorruta.

Fuente: Elaboración propia.

4.6.2.4 Curvas isócronas en relación con la variable geográfica de barrios, red de ciclorruta.

De acuerdo con el procedimiento descrito en el capítulo 3.4.1 se realiza una intersección entre la información del polígono de las curvas isócronas de accesibilidad y el polígono de barrios para generar la cobertura de las curvas con la población de los diferentes barrios.

Figura 4-91: Mapa análisis de cobertura espacial para red de ciclorruta por barrios.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

La red de ciclorruta propuesta (color rojo) se desarrolló con la premisa de abarcar todos los nodos de actividad primaria (color amarillo) y procurando cobertura plena en el sector céntrico del municipio, los barrios más alejados de la red corresponden a las zonas de expansión urbana como San José, Arazá, Providencia, Villa Alejandra alto y bajo donde las condiciones de la infraestructura vial existente presentan deficiencias o aún se encuentra en afirmado sin tener definido un perfil vial. En términos de accesibilidad territorial el 80.5% de la población accede en bicicleta a cualquier parte de municipio con un tiempo promedio de viaje de 15 minutos o menos.

**Tabla 4-57:** Relación de barrios por curva isócrona promedio, población y densidad poblacional para la red de ciclorruta.

<b>Barrio</b>	<b>Promedio general de tiempo de viaje (min)</b>	<b>Población (hab)</b>	<b>Densidad poblacional (Hab / ha)</b>
LA ESPERANZA	10.00	811	41.95
VILLA DEL PARQUE	10.00	35	19.92
VILLA ANGELA	10.00	270	55.33
SANTANDER	10.00	740	44.59
VILLA DEL PRADO	10.00	57	33.07
SAN JORGE	10.83	3961	112.90
EL DORADO	11.25	1276	53.27
VILLA ANDREA	11.25	1111	107.83
BICENTENARIO 2	11.43	1003	90.49
LOS COMUNEROS	11.67	512	66.14
EL REMANSO	11.67	704	127.31
EL PORVENIR	11.67	2556	113.69
LA GRANJA	12.00	2041	88.63
SANTA ROSITA	12.00	687	64.90
1 DE OCTUBRE	12.50	843	74.19
EL TRIUNFO	12.50	1063	59.59
EL DIVINO NIÑO	12.50	843	84.90
EL MODELO	12.50	2625	67.98
BELLO HORIZONTE	13.33	2206	70.47
1 DE MAYO	13.33	591	83.37
COOPSAGUA	13.75	628	74.81
EL CENTRO	14.35	635	25.24
SAN IGNACIO	15.00	393	81.18
EL PROGRESO	15.00	440	90.08
PRADOS DE SAN SEBASTIÁN	15.00	973	101.30
BELÉN DE LA PAZ	15.00	644	107.61
BICENTENARIO	15.00	187	40.15
POPULAR	15.00	436	107.24
20 DE JULIO	16.25	1655	46.62
VILLA UNIÓN	16.67	135	52.80
Z_PROYECCION_AMG_1	17.32	0	0.00
LA PAZ	17.50	1540	165.69
ARAZÁ	17.50	2193	91.27
PROVIDENCIA	19.23	996	56.07
SAN JOSÉ	22.50	279	50.15
VILLA ALEJANDRA ALTO	29.50	663	3.43
VILLA ALEJANDRA BAJO	32.50	558	3.20
<b>PROMEDIOS GENERALES</b>	<b>14.53</b>	<b>981</b>	<b>69.12</b>

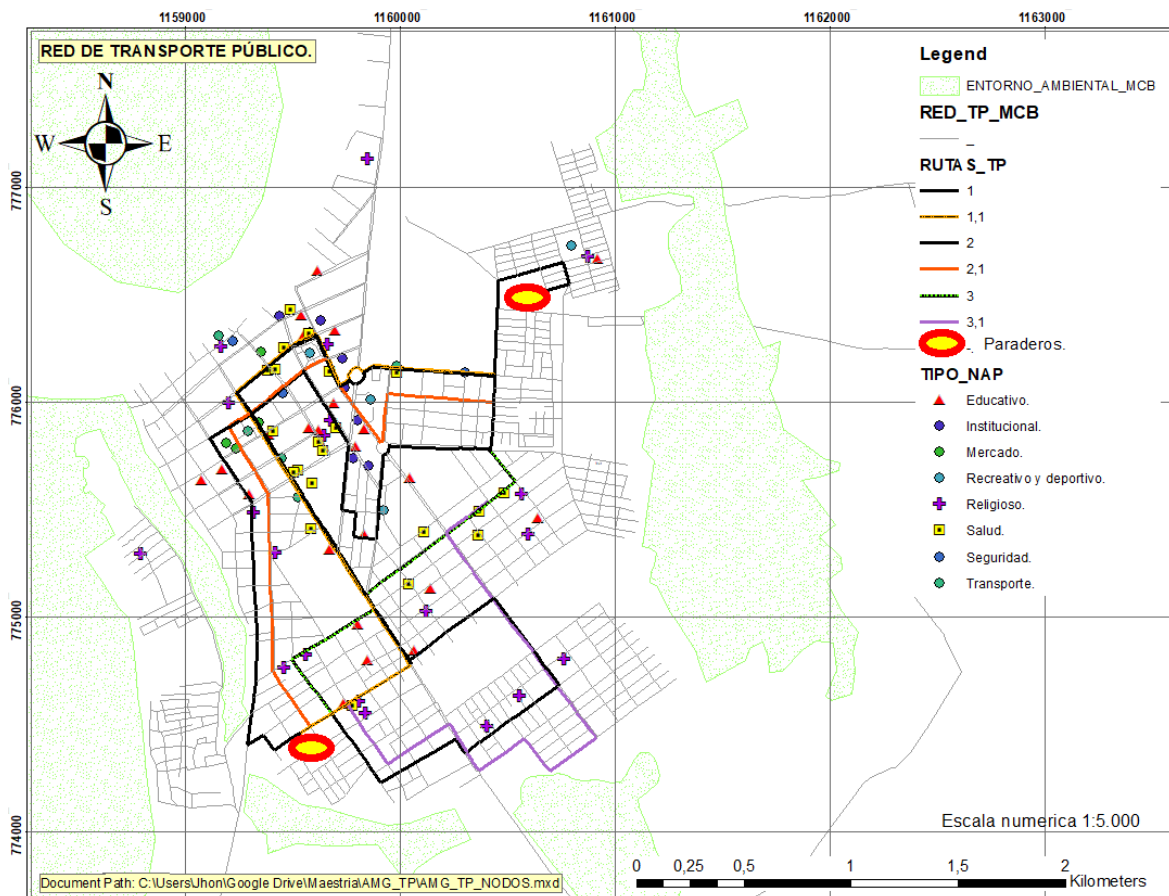
Fuente: Elaboración propia.



### 4.6.3 Análisis de escenario con red de transporte público colectivo urbano.

La propuesta de transporte público colectivo urbano está compuesta por dos equipamientos terminales (paraderos) ubicados en los barrios La Paz y Comuneros (origen – destino y viceversa) (Alcaldía de San José del Guaviare, 2002), los cuales distribuyen seis (6) rutas dispuestas para atender la demanda de los nodos de actividad primaria (NAP) descritos en la sección 4.4.2 y abarcar la superficie urbana de manera óptima.

**Figura 4-92:** Diseño vial red de transporte publico colectivo urbano.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

El valor de la velocidad media espacial de las rutas propuestas para el transporte público fue asumido teniendo en cuenta elementos de decisión como las características propias de la red de vehículo privado del escenario actual, donde los valores obtenidos para los arcos viales indica que el promedio es igual a 18.28 km/h, mínimo de 9 km/h y el máximo de 39 km/h. También se tuvo en cuenta datos de ciudades con características operativas que guardarán algún grado de similitud, en primer lugar la ciudad de Manizales donde la velocidad de operación para la red primaria en transporte público es de 29.09 km/h

(Montoya, 2019) y la ciudad de Popayán con 31.3 km/h para microbuses (Escobar, 2008). Ahora bien, para efectos técnicos del presente trabajo, se tomara 30 km/h, como velocidad media espacial de la red de transporte público.

4.6.3.1 Matriz de tiempos de viaje.

Según procedimiento descrito en el capítulo 3.3 se desarrolló los cálculos de accesibilidad media global para la red de transporte público. Como resultado del proceso ilustrado en la figura 3-19 se calcula a través del algoritmo de Dijkstra la matriz (tamaño nxn), en función de minimizar el tiempo de viaje (*Múltiple paths*) de todos los campos a todos los campos, siendo n igual novecientos siete (907) nodos de la red.

Figura 4-93: Matriz de tiempos de viaje para red de transporte publico colectivo.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Sum
1	0.00	1.06	17.59	17.22	20.09	19.59	12.84	12.60	12.51	12.74	14.23	13.04	9.51	14294.83
2	1.06	0.00	18.51	18.14	21.01	20.51	13.76	13.52	13.43	13.65	15.29	14.10	10.57	15176.15
3	16.24	17.30	0.00	0.37	3.00	2.50	7.69	7.46	6.34	6.13	13.42	12.23	8.57	9964.71
4	15.87	16.93	0.37	0.00	3.37	2.87	7.32	7.09	5.97	5.76	13.05	11.86	8.20	9676.45
5	18.74	19.80	3.00	3.37	0.00	0.50	10.20	9.96	8.84	8.63	15.92	14.73	11.08	12074.47
6	18.24	19.29	2.50	2.87	0.50	0.00	9.69	9.45	8.34	8.13	15.41	14.23	10.57	11619.56
7	10.55	11.61	7.33	6.96	9.83	9.32	0.00	1.02	3.20	3.04	7.73	6.54	2.89	6931.67
8	10.67	11.73	8.15	7.78	10.65	10.15	1.02	0.00	3.29	3.52	7.85	6.66	3.00	7411.78
9	10.71	11.76	6.34	5.97	8.84	8.34	2.61	2.37	0.00	1.08	7.88	6.70	3.04	6731.17
10	11.38	12.44	6.17	5.80	8.67	8.17	2.84	2.60	1.08	0.00	8.56	7.37	3.72	6807.54
11	13.38	14.44	13.76	13.39	16.26	15.76	8.12	9.14	9.05	9.28	0.00	1.19	3.87	9725.17
12	12.19	13.25	12.57	12.20	15.07	14.57	6.94	7.95	7.87	8.09	1.19	0.00	2.68	8752.36
13	9.51	10.57	9.89	9.52	12.39	11.89	4.25	5.27	5.18	5.41	4.84	3.66	0.00	6667.45
14	9.74	10.80	10.03	9.66	12.53	12.03	4.01	5.03	4.95	5.17	5.08	3.89	0.23	6820.13
15	12.97	14.02	10.70	10.33	13.21	12.70	6.57	7.59	6.58	6.41	6.41	5.22	3.46	6760.53
16	16.54	17.60	14.28	13.91	16.78	16.27	10.15	11.16	10.15	9.99	9.98	8.79	7.03	9651.27
17	13.09	14.14	13.46	13.09	15.97	15.46	7.83	8.84	8.76	8.99	3.59	4.78	3.58	9358.15
18	12.81	13.86	13.18	12.82	15.69	15.18	7.55	8.56	8.48	8.71	2.21	3.40	3.30	9177.81
19	12.34	13.40	10.83	10.46	13.34	12.83	6.70	7.72	6.71	6.54	5.78	4.60	2.84	6954.36
20	13.29	14.35	11.78	11.41	14.28	13.78	7.65	8.67	7.66	7.49	6.73	5.55	3.79	7805.16
21	12.63	13.69	10.66	10.29	13.16	12.66	6.53	7.54	6.54	6.37	6.07	4.89	3.13	6805.97
22	13.60	14.65	11.34	10.97	13.84	13.34	7.21	8.22	7.21	7.05	7.04	5.85	4.09	7646.71
23	14.57	15.62	10.82	10.46	13.33	12.82	6.70	7.71	6.70	6.53	8.93	7.74	5.06	7180.81
24	15.34	16.40	11.60	11.23	14.10	13.60	7.47	8.49	7.48	7.31	9.71	8.52	5.84	7884.45
Sum	13794.14	14719.05	10250.91	9962.28	12363.17	11907.77	7478.43	7928.54	7246.64	7160.23	10012.17	9036.67	6323.41	8815207.02

Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Los resultados permiten inferir que la matriz es asimétrica, es decir que el tiempo que emplea un nodo i en ir al resto de los nodos es diferente al total del tiempo que emplean todos los nodos en ir al nodo i. Después se procedió a la correspondencia de nodos en TransCAD para garantizar su ubicación geográfica y posteriormente se promedió dividiendo la sumatoria de tiempo de cada nodo entre el número total de estos menos uno (1). A continuación se muestra un segmento de los resultados obtenidos.

4.6.3.2 Vector de tiempo medio de viaje, red de transporte público.

**Tabla 4-58:** Segmento de datos de vector medio de tiempo de viaje, red transporte público.

ID	LONGITUD	LATITUD	SUM	TV_PROMEDIO
1	-72.641118	2.577104	14294.83	15.7779581
2	-72.640566	2.577767	15176.15	16.7507174
3	-72.630446	2.576961	9964.71	10.9985762
4	-72.630353	2.576671	9676.45	10.6804084
n-1	-	-	-	-

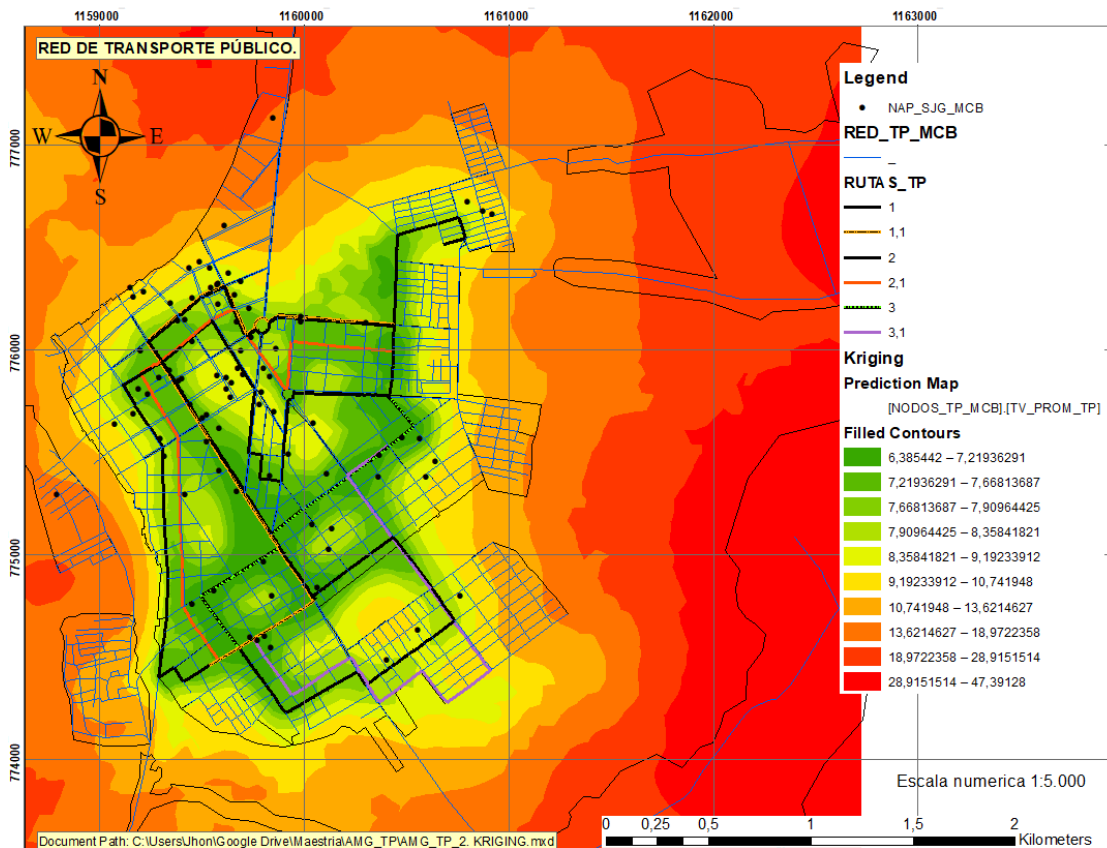
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

4.6.3.3 Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas para la red de transporte público.

La red está compuesta por 907 nodos y 1501 arcos, los cuales suman una longitud total (L) de 130.3 km en un rango de extensión lineal que va desde los 8.70 hasta 325 m, con promedio de 86.82 m y una desviación estándar de 48.75 m.

Como resultado del proceso descrito en la sección 3.3.3 obtenemos un mapa predictivo en función del tiempo promedio de viaje que nos indica gráficamente su comportamiento y nos permite inferir de manera preliminar las zonas con menor accesibilidad.

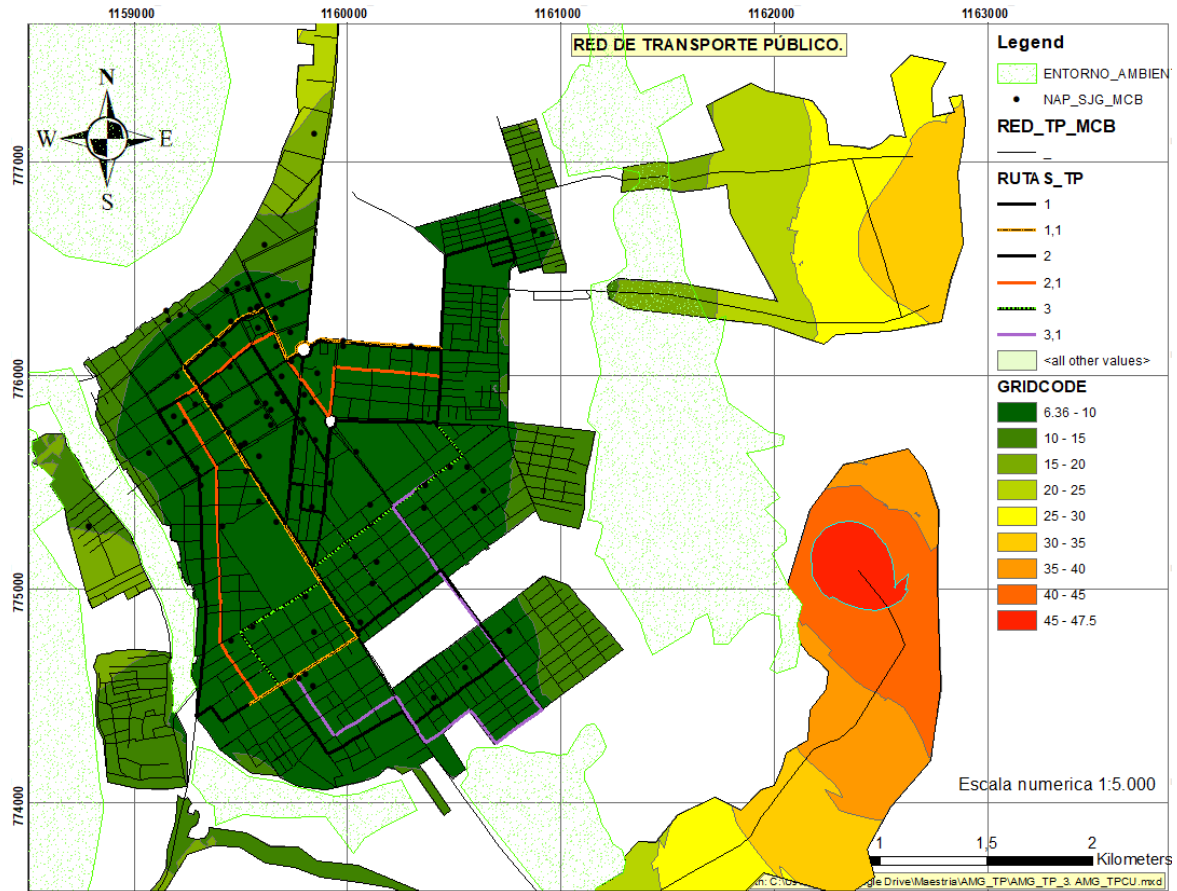
**Figura 4-94:** Resultado de Kriging ordinario y predictivo, red de transporte público.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

De acuerdo con el procedimiento establecido por la metodología en los capítulos [3.1](#), [3.2](#) y [3.3](#), se obtuvo los resultados del cálculo de la accesibilidad media global según curvas isócronas.

**Figura 4-95:** Mapa de curvas isócronas de accesibilidad media global según red de transporte público.



*Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.*

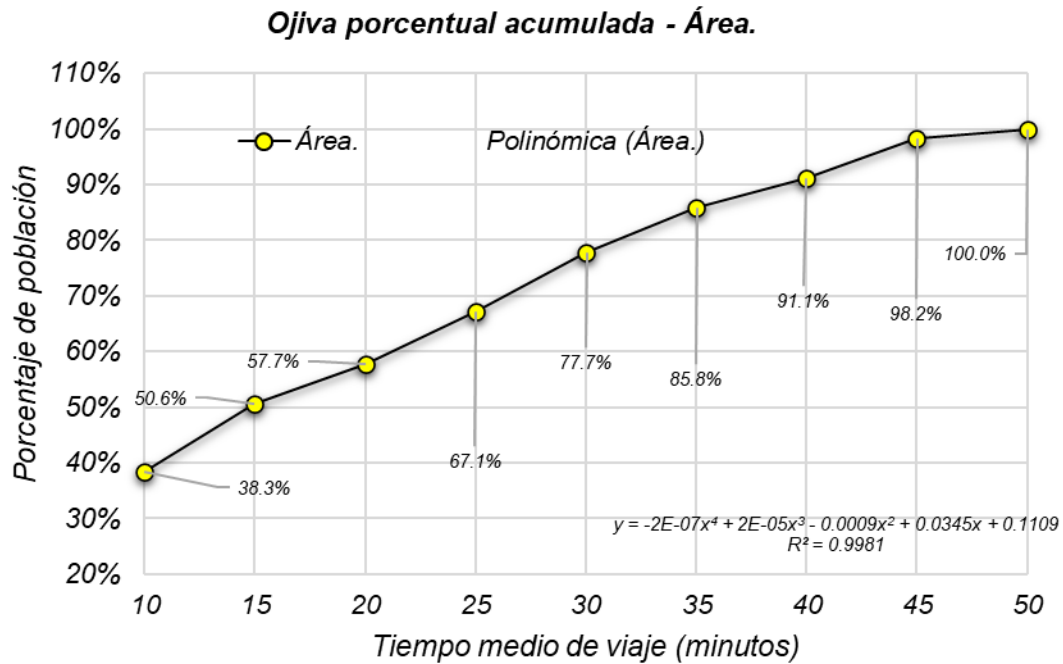
La red de transporte público colectivo urbano arroja resultados favorables, teniendo presente que la curva isócrona de 10 minutos cubre el 69.71% de la población equivalente a 29.296 habitantes, seguida de la curva isócrona de 15 minutos cubre el 91.61% de la población equivalente a 33.244 habitantes. Solo con estas dos curvas se cubre la mayor parte de la población destacándose que toda las rutas proyectadas operan con tiempos promedio de viaje iguales o menores a 10 minutos. A largo plazo se debe prever futuras ampliaciones de las rutas de transporte público con las zonas de expansión urbana que se encuentran desarrolladas y las que se generaran de forma necesaria para dar crecimiento al municipio.

**Tabla 4-59:** Porcentaje de área cubierta por las curvas isócronas, red de transporte público.

Curva isócrona	Rango (min)	Área cubierta (ha.)	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
10	6.36 - 10	343.48	38.29%	38.29%
15	(10 - 15)	110.42	12.31%	50.60%
20	(15 - 20)	63.50	7.08%	57.68%
25	(20 - 25)	84.88	9.46%	67.14%
30	(25 - 30)	95.04	10.59%	77.74%
35	(30 - 35)	72.62	8.10%	85.84%
40	(35 - 40)	46.87	5.23%	91.06%
45	(40 - 45)	64.14	7.15%	98.21%
50	(40 - 50)	16.04	1.79%	100%
Total general		897	100%	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-96:** Ojiva porcentual acumulada, área cubierta para red de transporte público.

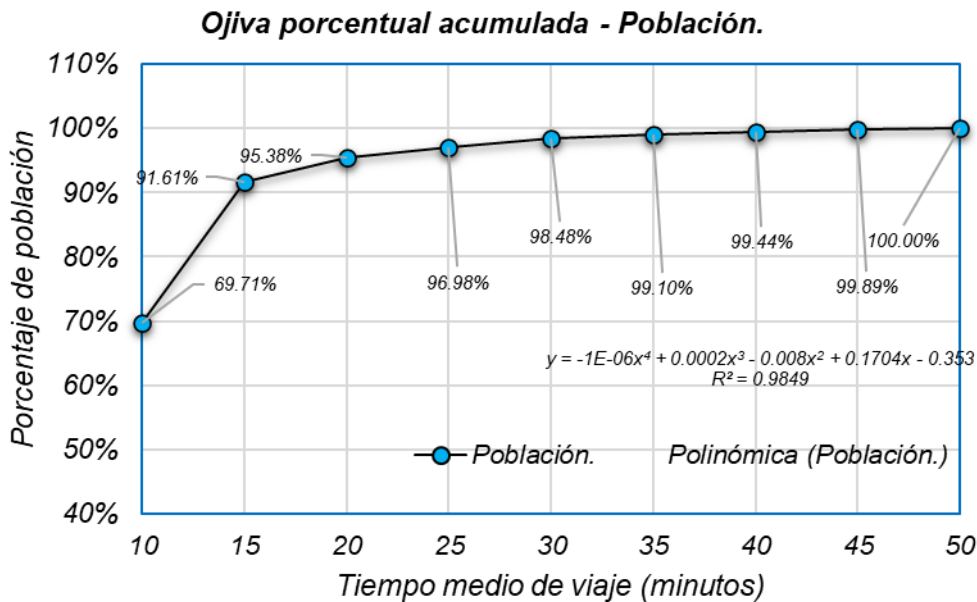


Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-60:** Porcentaje de población total cubierta por las curvas isócronas para la red de transporte público.

<b>Curva isócrona</b>	<b>Rango (min)</b>	<b>Población cubierta (hab.)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Porcentaje acumulado (%)</b>
10	6.36 - 10	25296	69.71%	69.71%
15	(10 - 15)	7948	21.90%	91.61%
20	(15 - 20)	1368	3.77%	95.38%
25	(20 - 25)	581	1.60%	96.98%
30	(25 - 30)	546	1.50%	98.48%
35	(30 - 35)	225	0.62%	99.10%
40	(35 - 40)	121	0.33%	99.44%
45	(40 - 45)	164	0.45%	99.89%
50	(40 - 50)	41	0.11%	100%
<b>Total general</b>		<b>36290</b>	<b>100%</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-97:** Ojiva porcentual acumulada de población cubierta para red de transporte público.

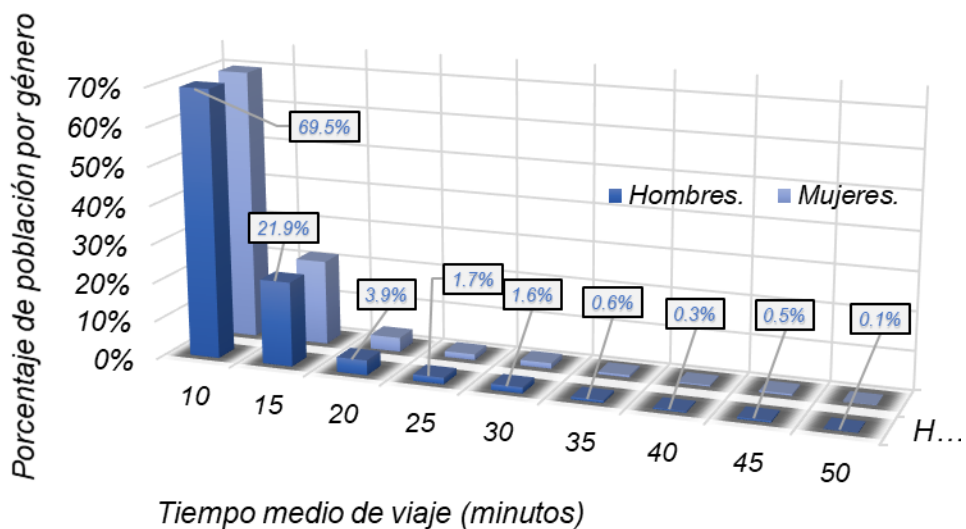
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-61:** Porcentaje de población por genero cubierta por las curvas isócronas para la red de transporte público.

Curva isócrona	Rango (min)	Suma de Hombres	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)	Suma de Mujeres	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
10	6.36 - 10	12312	69.47%	69.47%	12984	69.93%	69.93%
15	(10 - 15)	3877	21.88%	91.35%	4071	21.92%	91.85%
20	(15 - 20)	685	3.87%	95.21%	683	3.68%	95.53%
25	(20 - 25)	298	1.68%	96.90%	283	1.52%	97.05%
30	(25 - 30)	279	1.57%	98.47%	267	1.44%	98.49%
35	(30 - 35)	112	0.63%	99.10%	113	0.61%	99.10%
40	(35 - 40)	59	0.33%	99.44%	62	0.33%	99.43%
45	(40 - 45)	80	0.45%	99.887%	84	0.45%	99.89%
50	(40 - 50)	20	0.11%	100%	21	0.11%	100%
<b>Total general</b>		<b>36290</b>	<b>100%</b>		<b>18568</b>	<b>100%</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-98:** Porcentaje de población cubierta por género en la red de transporte público.

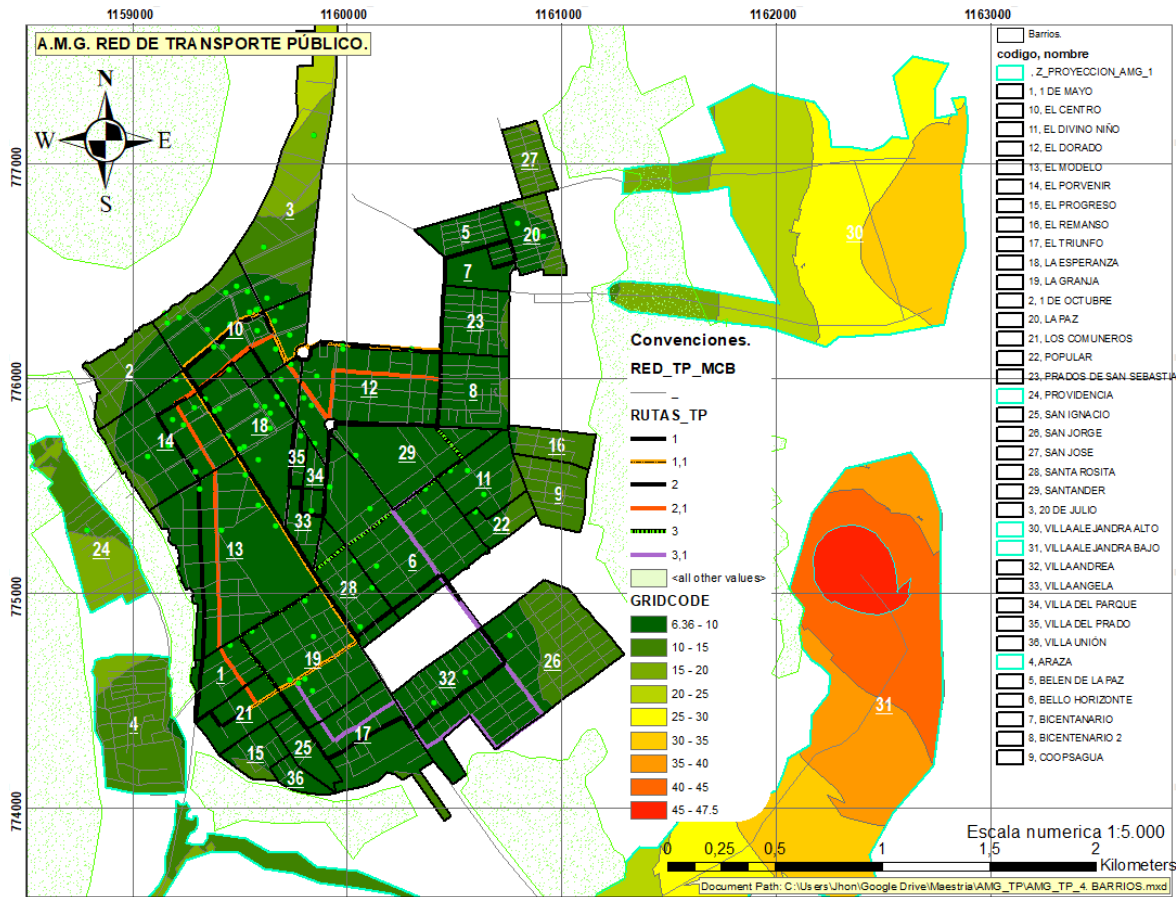


Fuente: Elaboración propia.

4.6.3.4 Curvas isócronas en relación con la variable geográfica de barrios, red de transporte público.

De acuerdo con el procedimiento descrito en el capítulo 3.4.1 se realiza una intersección entre la información del polígono de las curvas isócronas de accesibilidad y el polígono de barrios para generar la cobertura de las curvas con la población de los diferentes barrios.

**Figura 4-99:** Mapa de análisis de cobertura espacial para la red de transporte público por barrios.



Fuente: Elaboración propia a partir de ArcMap.

La accesibilidad territorial propuesta para la red de transporte público en función de la delimitación geográfica por barrios permite inferir de forma similar a los resultados de la red de ciclorruta una amplia cobertura en el polígono urbano principal con limitantes en las zonas de expansión urbana.



**Tabla 4-62:** Relación de barrios por curva isócrona promedio, población y densidad poblacional para la red de transporte público.

<b>Barrio</b>	<b>Prom. general tiempo de viaje (min)</b>	<b>Población (hab)</b>	<b>Densidad poblacional (Hab / ha)</b>
LA ESPERANZA	10.00	811	41.95
VILLA DEL PARQUE	10.00	35	19.92
VILLA ANGELA	10.00	270	55.33
SANTANDER	10.00	740	44.59
VILLA DEL PRADO	10.00	57	33.07
SAN JORGE	10.83	3961	112.90
EL DORADO	11.25	1276	53.27
VILLA ANDREA	11.25	1111	107.83
BICENTENARIO 2	11.43	1003	90.49
LOS COMUNEROS	11.67	512	66.14
EL REMANSO	11.67	704	127.31
EL PORVENIR	11.67	2556	113.69
LA GRANJA	12.00	2041	88.63
SANTA ROSITA	12.00	687	64.90
1 DE OCTUBRE	12.50	843	74.19
EL TRIUNFO	12.50	1063	59.59
EL DIVINO NIÑO	12.50	843	84.90
EL MODELO	12.50	2625	67.98
BELLO HORIZONTE	13.33	2206	70.47
1 DE MAYO	13.33	591	83.37
COOPSAGUA	13.75	628	74.81
EL CENTRO	14.35	635	25.24
SAN IGNACIO	15.00	393	81.18
EL PROGRESO	15.00	440	90.08
PRADOS DE SAN SEBASTIÁN	15.00	973	101.30
BELÉN DE LA PAZ	15.00	644	107.61
BICENTENARIO	15.00	187	40.15
POPULAR	15.00	436	107.24
20 DE JULIO	16.25	1655	46.62
VILLA UNIÓN	16.67	135	52.80
Z_PROYECCION_AMG_1	17.32	0	0.00
LA PAZ	17.50	1540	165.69
ARAZÁ	17.50	2193	91.27
PROVIDENCIA	19.23	996	56.07
SAN JOSÉ	22.50	279	50.15
VILLA ALEJANDRA ALTO	29.50	663	3.43
VILLA ALEJANDRA BAJO	32.50	558	3.20
<b>PROMEDIOS GENERALES</b>	<b>14.53</b>	<b>981</b>	<b>69.12</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6.4 Análisis de cobertura para nodos de actividad primaria en función de modos de transporte.

Para la realización del presente análisis se utilizó en el software *ArcMap* la función *Intersect* con el objetivo de fusionar las tablas de atributos de los nodos de actividad primaria con los resultados de accesibilidad territorial por cada modo de transporte, peatonal, ciclorruta y transporte público colectivo urbano, presentando en detalle análisis con curvas isócronas cada dos minutos donde se presenta la cobertura porcentual que tienen cada categoría de nodos de actividad primaria respecto a los tiempos promedio de viaje estudiado.

La cobertura porcentual en la red peatonal inicia en la curva isócrona de 16 minutos con presencia en algunos nodos de actividad primaria, mientras que para la ciclorruta y el transporte público inicia en la curva isócrona de 8 minutos. La cobertura de la red peatonal se cumple en la totalidad de los nodos hasta la curva isócrona de 36 minutos, en la red de ciclorruta hasta la curva isócrona de 22 minutos y en la red de transporte hasta los 26 minutos.

A continuación se presentan las tablas de detalle con los respectivos valores porcentuales.

**Tabla 4-63:** Análisis para curvas isócronas de 8 y 10 minutos.

CURVA ISÓCRONA	8 MINUTOS			10 MINUTOS		
	PEATÓN	BICICLETA	TRANSPORTE PÚBLICO	PEATÓN	BICICLETA	TRANSPORTE PÚBLICO
<i>Gubernamental</i>	0%	40%	40%	0%	100%	100%
<i>Justicia</i>	0%	100%	0%	0%	100%	100%
<i>Cultural</i>	0%	0%	0%	0%	100%	100%
<i>CDI</i>	0%	100%	50%	0%	100%	100%
<i>Escuela</i>	0%	33%	0%	0%	67%	100%
<i>Colegio</i>	0%	38%	38%	0%	88%	88%
<i>Universidad o IES</i>	0%	14%	57%	0%	71%	86%
<i>Transporte</i>	0%	20%	80%	0%	100%	80%
<i>Religioso Católico</i>	0%	0%	50%	0%	50%	100%
<i>Religioso cristiano</i>	0%	14%	29%	0%	64%	79%
<i>Salud Pública</i>	0%	29%	57%	0%	86%	100%
<i>IPS y EPS</i>	0%	29%	100%	0%	100%	100%
<i>Consultorios médicos privados</i>	0%	29%	57%	0%	100%	100%
<i>Seguridad</i>	0%	0%	25%	0%	75%	75%
<i>Recreativo-deportivo</i>	0%	0%	0%	0%	75%	100%
<i>Mercado</i>	0%	0%	75%	0%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-64:** Análisis para curvas isócronas de 12 y 14 minutos.

<b>CURVA ISÓCRONA</b>	<b>12 MINUTOS</b>			<b>14 MINUTOS</b>		
	<b>PEATÓN</b>	<b>BICICLETA</b>	<b>TRANSPORTE PÚBLICO</b>	<b>PEATÓN</b>	<b>BICICLETA</b>	<b>TRANSPORTE PÚBLICO</b>
<i>Gubernamental</i>	0%	100%	100%	0%	100%	100%
<i>Justicia</i>	0%	100%	100%	0%	100%	100%
<i>Cultural</i>	0%	100%	100%	0%	100%	100%
<i>CDI</i>	0%	100%	100%	0%	100%	100%
<i>Escuela</i>	0%	83%	100%	0%	83%	100%
<i>Colegio</i>	0%	88%	88%	0%	88%	88%
<i>Universidad o IES</i>	0%	100%	86%	0%	100%	100%
<i>Transporte</i>	0%	100%	100%	0%	100%	100%
<i>Religioso Católico</i>	0%	83%	100%	0%	83%	100%
<i>Religioso cristiano</i>	0%	93%	86%	0%	93%	86%
<i>Salud Pública</i>	0%	100%	100%	0%	100%	100%
<i>IPS y EPS</i>	0%	100%	100%	0%	100%	100%
<i>Consultorios médicos privados</i>	0%	100%	100%	0%	100%	100%
<i>Seguridad</i>	0%	75%	75%	0%	75%	75%
<i>Recreativo-deportivo</i>	0%	75%	100%	0%	75%	100%
<i>Mercado</i>	0%	100%	100%	0%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-65:** Análisis para curvas isócronas de 16 y 18 minutos.

<b>CURVA ISÓCRONA</b>	<b>16 MINUTOS</b>			<b>18 MINUTOS</b>		
	<b>PEATÓN</b>	<b>BICICLETA</b>	<b>TRANSPORTE PÚBLICO</b>	<b>PEATÓN</b>	<b>BICICLETA</b>	<b>TRANSPORTE PÚBLICO</b>
<i>Gubernamental</i>	0%	100%	100%	40%	100%	100%
<i>Justicia</i>	0%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Cultural</i>	0%	100%	100%	0%	100%	100%
<i>CDI</i>	0%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Escuela</i>	17%	100%	100%	67%	100%	100%
<i>Colegio</i>	0%	88%	88%	50%	88%	88%
<i>Universidad o IES</i>	14%	100%	100%	29%	100%	100%
<i>Transporte</i>	0%	100%	100%	40%	100%	100%
<i>Religioso Católico</i>	0%	100%	100%	17%	100%	100%
<i>Religioso cristiano</i>	7%	100%	93%	36%	100%	93%
<i>Salud Pública</i>	14%	100%	100%	57%	100%	100%
<i>IPS y EPS</i>	29%	100%	100%	86%	100%	100%
<i>Consultorios médicos privados</i>	14%	100%	100%	57%	100%	100%
<i>Seguridad</i>	0%	100%	75%	0%	100%	75%
<i>Recreativo-deportivo</i>	0%	100%	100%	50%	100%	100%
<i>Mercado</i>	0%	100%	100%	0%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-66:** Análisis para curvas isócronas de 20 y 22 minutos.

<b>CURVA ISÓCRONA</b>	<b>20 MINUTOS</b>			<b>22 MINUTOS</b>		
	<b>PEATÓN</b>	<b>BICICLETA</b>	<b>TRANSPORTE PÚBLICO</b>	<b>PEATÓN</b>	<b>BICICLETA</b>	<b>TRANSPORTE PÚBLICO</b>
<i>Gubernamental</i>	80%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Justicia</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Cultural</i>	0%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>CDI</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Escuela</i>	67%	100%	100%	83%	100%	100%
<i>Colegio</i>	88%	88%	88%	88%	100%	88%
<i>Universidad o IES</i>	71%	100%	100%	86%	100%	100%
<i>Transporte</i>	80%	100%	100%	80%	100%	100%
<i>Religioso Católico</i>	83%	100%	100%	83%	100%	100%
<i>Religioso cristiano</i>	57%	100%	100%	79%	100%	100%
<i>Salud Publica</i>	86%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>IPS y EPS</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Consultorios médicos privados</i>	71%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Seguridad</i>	50%	100%	75%	50%	100%	75%
<i>Recreativo-deportivo</i>	75%	100%	100%	75%	100%	100%
<i>Mercado</i>	75%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-67:** Análisis para curvas isócronas de 24 y 26 minutos.

<b>CURVA ISÓCRONA</b>	<b>24 MINUTOS</b>			<b>26 MINUTOS</b>		
	<b>PEATÓN</b>	<b>BICICLETA</b>	<b>TRANSPORTE PÚBLICO</b>	<b>PEATÓN</b>	<b>BICICLETA</b>	<b>TRANSPORTE PÚBLICO</b>
<i>Gubernamental</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Justicia</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Cultural</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>CDI</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Escuela</i>	83%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Colegio</i>	88%	100%	88%	88%	100%	100%
<i>Universidad o IES</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Transporte</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Religioso Católico</i>	83%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Religioso cristiano</i>	86%	100%	100%	93%	100%	100%
<i>Salud Publica</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>IPS y EPS</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Consultorios médicos privados</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Seguridad</i>	75%	100%	100%	75%	100%	100%
<i>Recreativo-deportivo</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Mercado</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-68:** Análisis para curvas isócronas de 28 y 30 minutos.

<b>CURVA ISÓCRONA</b>	<b>28 MINUTOS</b>			<b>30 MINUTOS</b>		
	<b>PEATÓN</b>	<b>BICICLETA</b>	<b>TRANSPORTE PÚBLICO</b>	<b>PEATÓN</b>	<b>BICICLETA</b>	<b>TRANSPORTE PÚBLICO</b>
<i>Gubernamental</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Justicia</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Cultural</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>CDI</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Escuela</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Colegio</i>	88%	100%	100%	88%	100%	100%
<i>Universidad o IES</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Transporte</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Religioso Católico</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Religioso cristiano</i>	93%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Salud Pública</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>IPS y EPS</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Consultorios médicos privados</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Seguridad</i>	75%	100%	100%	75%	100%	100%
<i>Recreativo-deportivo</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Mercado</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-69:** Análisis para curvas isócronas de 32 y 34 minutos.

<b>CURVA ISÓCRONA</b>	<b>32 MINUTOS</b>			<b>34 MINUTOS</b>		
	<b>PEATÓN</b>	<b>BICICLETA</b>	<b>TRANSPORTE PÚBLICO</b>	<b>PEATÓN</b>	<b>BICICLETA</b>	<b>TRANSPORTE PÚBLICO</b>
<i>Gubernamental</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Justicia</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Cultural</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>CDI</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Escuela</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Colegio</i>	88%	100%	100%	88%	100%	100%
<i>Universidad o IES</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Transporte</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Religioso Católico</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Religioso cristiano</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Salud Pública</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>IPS y EPS</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Consultorios médicos privados</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Seguridad</i>	75%	100%	100%	75%	100%	100%
<i>Recreativo-deportivo</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Mercado</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4-70:** Análisis para la curva isócrona de 36 minutos.

<b>CURVA ISÓCRONA</b>	<b>36 MINUTOS</b>		
	<b>PEATÓN</b>	<b>BICICLETA</b>	<b>TRANSPORTE PÚBLICO</b>
<i>Gubernamental</i>	100%	100%	100%
<i>Justicia</i>	100%	100%	100%
<i>Cultural</i>	100%	100%	100%
<i>CDI</i>	100%	100%	100%
<i>Escuela</i>	100%	100%	100%
<i>Colegio</i>	100%	100%	100%
<i>Universidad o IES</i>	100%	100%	100%
<i>Transporte</i>	100%	100%	100%
<i>Religioso Católico</i>	100%	100%	100%
<i>Religioso cristiano</i>	100%	100%	100%
<i>Salud Pública</i>	100%	100%	100%
<i>IPS y EPS</i>	100%	100%	100%
<i>Consultorios médicos privados</i>	100%	100%	100%
<i>Seguridad</i>	100%	100%	100%
<i>Recreativo-deportivo</i>	100%	100%	100%
<i>Mercado</i>	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de cruce de información entre los modos de transporte peatonal, ciclorruta y transporte público en función de los nodos de actividad primaria en todas sus categorías, se pudo determinar la cobertura porcentual de accesibilidad media global y con esto poder sustentar la conveniencia de las propuestas para la red de ciclorruta y transporte público donde se cubre con la curva isócrona menor de ocho (8) minutos el 28% y 41% y en la curva isócrona de diez (10) minutos se alcanza cubrimiento del 86% y 94% respectivamente, lo cual representa valores óptimos de acceso para servicios tan esenciales como la salud, el transporte, la educación y la seguridad además de los servicios complementarios como lo son el gubernamental, justicia, cultural, religioso, recreo deportivo y de mercado.

## 5 Conclusiones y recomendaciones.

### 5.1 Conclusiones.

Teniendo presente la premisa de generar una herramienta de planeación urbana que tenga como fin primordial contribuir al desarrollo planificado y sustentado de cualquier municipio con características sociodemográficas similares a la capital de Guaviare, se concluye que la metodología desarrollada permite realizar de forma satisfactoria los respectivos cálculos de accesibilidad territorial en lugares con ausencia o déficit de información relacionada con la red de transporte y su funcionamiento, además los costos operativos de trabajo de campo se reducen a una visita ocular al sitio de estudio que se puede omitir en casos especiales de restricción de acceso, con lo cual resulta una alternativa de bajo coste que se basa en un trabajo de oficina juicioso y dedicado para la obtención de la red de transporte mediante software SIG, la estimación poblacional por medio del geo visor del portal DANE y la determinación de las condiciones operativas de velocidad a través del servidor web de mapas *Google maps* que permitan ejecutar los análisis geoestadísticos correspondientes de todos los nodos a todos los nodos.

#### Creación y validación de la red transporte.

Durante la etapa de creación de la red se estableció en febrero de 2019 como primera medida de trabajo el sistema de coordenadas proyectadas Magna Colombia Bogotá de acuerdo con la posición geográfica del municipio de San José del Guaviare. Ahora bien, se precisa que desde mayo de 2020 el Instituto geográfico Agustín Codazzi (I.G.A.C.) expidió la resolución 471 de 2020, donde establece un único origen de coordenadas a nivel nacional, sin embargo para efectos de los presentes análisis geoestadísticos no representa variación significativa la actualización en mención.

En la digitalización de las capas de información geográfica se encontró que la forma mas rápida y efectiva consiste en el uso de los mapas base que vienen incorporados en el software *ArcMap* en especial el denominado *Imagery with labels* sobre el cual se digitan las manzanas urbanas, el entorno ambiental con apoyo de estudios del sector, la delimitación por barrios según el mapa urbano de San José elaborado por la (Gobernación del Guaviare, 2017) y por último la red vial existente.

Para el proceso de validación de conectividad de la red vial se pudo determinar que la mejor herramienta a fin de encontrar errores como arcos traslapados y arcos intermitentes sin conexión efectiva con arcos contiguos, se encuentra dentro del software *ArcMap* con la función *Topology* mediante la creación de un *dataset* tipo *Geodatabase* para el *Shapefile* de polilínea de la red de transporte con el cual se efectúa la revisión topológica.

#### *Análisis y obtención de las condiciones operativas de la red de transporte.*

El proceso para la obtención de la velocidad operativa de todos los arcos viales se hizo a través de *Google Maps*, encontrándose los siguientes aspectos de importancia, en primer lugar, la escogencia de los tramos de ruta a calcular resulta efectiva y práctica cuando se tiene un inicio y fin en las esquinas de las manzanas, lo cual permite asignar los tiempos a arcos completos y evita la fragmentación de datos en un mismo arco, en segundo lugar se observó resultados más coherentes con tramos de longitud igual o mayor a ciento veinte (120) metros porque los tiempos de recorrido se dan en minutos, lo que resulta en una velocidad media espacial de 7.2 km/h para un minuto. Por consiguiente, valores inferiores de distancia estarán más cercanos a la velocidad de caminata, lo cual puede inducir a errores en la calibración de la red. Por último se encontró que en los tramos bidireccionales de una sola calzada los tiempos de análisis resultaron iguales para ambos sentidos.

En lo concerniente a la calibración de la red se concluye que el proceso de simulación de los datos cargados en *TransCAD* no requiere estimación de penalidades por giro ya que estas adiciones de tiempo por demoras, trancones y demás eventos de pérdidas de tiempo ocasionados por cualquier razón técnica o social que afecte la movilidad, vienen implícitas en las velocidades operaciones tomadas de *Google Maps*. Para finalizar se comprobó la alta relación lineal de los valores de tiempo obtenidos para treinta (30) rutas iguales según *Google Maps* y la red construida en *TransCAD*, teniendo presente el valor del coeficiente de determinación  $R^2$  igual a 0.99493645, con lo cual es posible inferir una efectiva bondad de ajuste.

#### *Accesibilidad media global, escenario actual.*

La red existente presenta la particularidad de tener un polígono urbano principal y zonas distantes de expansión urbana, mientras el polígono urbano principal está cubierto dentro de las curvas isócronas de cinco, seis, siete, ocho, nueve y diez minutos, las zonas de expansión urbana cuentan con curvas isócronas de accesibilidad desde los nueve minutos



hasta las zonas más retiradas donde se tienen curvas isócronas de quince y dieciséis minutos.

El buen comportamiento en el polígono urbano principal se debe a la plena distribución de la red vial que permite rápidos desplazamientos en la zona céntrica, esta alberga la mayoría de nodos de actividad primaria, en cuanto a las zonas de expansión urbana se precisa que su existencia obedece a las limitantes espaciales de crecimiento que tiene el municipio, por encontrarse inmerso dentro de un sistema ambiental de humedales en conjunto con el río Guaviare, lo cual hace que se desarrollen áreas urbanas residenciales fuera del polígono urbano principal. Esto ocasiona viajes más largos para cubrir zonas más distantes, por ende se tienen mayores tiempos promedios de viaje necesarios para no intervenir en espacios ambientalmente protegidos.

Porcentualmente se encontró que las curvas isócronas están definidas en un rango de cinco (5) a dieciséis (16) minutos, donde se cubre el 57.36% de la población con seis (6) minutos y se alcanza el 92.54% de cobertura poblacional con ocho (8) minutos. Respecto al análisis de población por género se obtuvo gran similitud porcentual entre hombres y mujeres debido a que en el análisis de habitantes por barrios los totales numéricos resultaron bastante cercanos. En cuanto al análisis de accesibilidad territorial por área cubierta se cubre el 57.60% con ocho (8) minutos y se alcanza el 94.57% de cobertura poblacional con catorce (14) minutos. Los resultados infieren una menor accesibilidad por área respecto a la población, esto se debe a que las zonas de expansión urbana presentan una densidad poblacional bastante menor con relación al polígono urbano principal.

#### *Análisis de cobertura actual para los nodos de actividad primaria.*

Los nodos de actividad primaria para este caso de estudio se clasifican en ocho (8) categorías, Institucional, Educativo, Transporte, Religioso, Salud, Seguridad, Recreo-deportivo y Mercado, estas a su vez se dividen en veintiún (21) tipos de NAP que comprenden todos los sitios de atracción de viajes del municipio. De acuerdo con la georreferenciación y los resultados de accesibilidad media global se infiere que todos los NAP se cubren con la curva isócrona de nueve (9) minutos y que a su vez todos están dentro del polígono urbano principal. Se destaca que los tipos de NAP para salud pública, IPS y EPS en conjunto con los consultorios privados están cubiertos con curvas isócronas de cinco (5) y seis (6) minutos.

*Gradiente de ahorro con escenarios futuros.*

De los cuatro escenarios evaluados se concluye lo siguiente. El escenario uno (1) no presenta resultados de accesibilidad territorial con mejoras significativas en el polígono urbano principal porque la adición de infraestructura está en la periferia del área urbana provocando el aumento de la sumatoria de los tiempos de viaje y por ende su promedio, además no conecta áreas pobladas, sin embargo, su principal objetivo consiste en ser eje de desarrollo para la expansión planificada del municipio respetando las condicionantes ambientales que este tiene. Se destacan mejoras en los tiempos de viaje promedio en la zona occidental de Arazá, providencia con porcentaje de gradiente de ahorro de hasta 4%, también se beneficiaron los barrios 1 de octubre, El porvenir, El modelo, 1 de mayo, Los comuneros y El progreso que tienen mejoras del 1 y 2%.

El escenario dos (2) tiene incidencia en el sector oriental al conectar los sectores geográficos de Villa Alejandra Bajo y Alto, la principal conveniencia se encuentra en la conformación de una anillo vial que permita desplazamientos más cortos para los habitantes de estas zonas distantes. Respecto al escenario actual se reduce la curva isócrona mayor de dieciséis (16) a quince (15) minutos, En cuanto al polígono urbano principal no se tiene ahorro alguno, mientras que en las zonas de expansión circundantes a la construcción de la nueva vía tiene ahorro porcentual de hasta el 40%.

En el escenario tres (3) se compone por la adición de cuatro (4) tramos viales en los barrios San Jorge, Coopsagua y Popular. Esta, a diferencia de las dos (2) propuestas anteriores se localiza en el polígono urbano principal presentando un gradiente de ahorro en algunos sectores de hasta el 47%. En detalle el 38.21% de la población equivalente a 13866 habitantes tienen una mejoría porcentual respecto al tiempo promedio de viaje del escenario actual de hasta el 5% en los barrios El triunfo, Villa Andrea, San Jorge, Santa Rosita, Bello horizonte, Popular, Divino niño, Coopsagua, Santander, El remanso, Bicentenario, Prados de san Sebastián, Belén de la paz, La paz, San José, Villa Alejandra bajo y alto.

En el escenario cuatro (4) se compilaron las tres (3) propuestas anteriores obteniendo los mejores resultados de accesibilidad territorial donde se redujo la curva isócrona mayor a de dieciséis (16) a trece (13) minutos. La curva isócrona de ocho (8) minutos cubre el 92.68% de la población y los barrios beneficiados son 25 respecto del total de 36, lo que representa cerca del 70%.

Se concluye que resulta imperiosa la necesidad de construir la nueva infraestructura que permite ser eje de desarrollo de expansión planificada en los sitios dispuestos para tal fin, recordando las limitantes ambientales que tiene el municipio de San José del Guaviare. En primer lugar se debe ejecutar la alternativa contemplada en el escenario tres (3) por su incidencia directa con el desarrollo inmobiliario existente en los barrios circundantes, posteriormente se debe ejecutar la adición de infraestructura del escenario dos (2) ya que aporta de forma directa al mejoramiento de las condiciones de accesibilidad de la zona de expansión urbana más importante del municipio. Por último, la construcción de la vía que conecta los puntos kilométricos 0+850 y 0+950 de la vía nacional de primer orden con código 6507 sector San José del Guaviare - Cruce Puerto Rico Meta y los puntos kilométricos 72+550 y 72+700 de la vía nacional de primer orden con código 7506 sector Calamar - San José del Guaviare, aportará organización y planificación al crecimiento del municipio hacia este sector que no presenta afectaciones ambientales. El conjunto de las anteriores alternativas conforma el escenario cuatro (4) que responde a las necesidades de corto plazo que requiere el municipio.

*Análisis de accesibilidad media global en función de modos de transporte y nodos de actividad de actividad primaria.*

Análisis de escenario, red peatonal. Teniendo presente que todos los arcos viales presentan la misma velocidad media espacial e igual direccionalidad, la matriz de tiempos de viaje resulta simétrica, por ende se obtiene que el tiempo que emplea un nodo en ir al resto de nodos resulta igual al tiempo total que emplean todos los nodos en ir al nodo en mención. La accesibilidad territorial se cumple de forma preponderante en el polígono urbano principal bajo la curva isócrona de veinte (20) minutos. Con relación a toda la red basta con la cobertura de la curva isócrona de veinticinco (25) para abarcar el 85.96% de la población y con treinta (30) minutos el 95.14%. El rango de tiempos promedio de viaje esta entre las curvas de veinte (20) y sesenta y un (61) minutos, tiempo con el cual se cubre el 100% de la población. Todos los barrios con excepción de los sectores de Villa Alejandra presentan cobertura inferior a los treinta (30) minutos, mientras que Villa Alejandra por encontrarse distante del polígono urbano principal, aumenta considerablemente sus tiempos promedio de viaje con relación al resto del municipio.

Análisis de escenario, red ciclorruta. El trazado de la red de ciclorruta se distribuyó en el polígono urbano principal abarcando la mayoría de los barrios y garantizando el paso por

---

todos los nodos de actividad primaria, con lo cual se evidencia que la menor curva isócrona es de 7.18 a 10 minutos y cubre el 27.61% del área en estudio y el 46.3% de la población urbana total, seguida de la curva isócrona de 10 a 15 minutos que cubre el 50.88% del área en estudio y el 89.54% de la población urbana total, luego la curva isócrona de 15 a 20 minutos cubre el 62.79% del área en estudio y el 96.9% de la población urbana total. Estas tres (3) curvas cubren la mayor parte de la población por lo que se considera que 20 minutos es el tiempo máximo que se requiere en el municipio para llegar a cualquier sitio usando bicicleta, teniendo presente la excepción de la zona de expansión urbana del sector de Villa Alejandra, la cual debe desarrollar en primera medida su infraestructura vial como se propone en los capítulos [4.5.2](#) y [4.5.3](#) contribuyendo en gran medida a conectar en todos los modos de transporte estas zonas distantes.

Análisis de escenario con red de transporte público colectivo urbano. La red de transporte público colectivo urbano arroja resultados favorables, teniendo presente que la curva isócrona de 10 minutos cubre el 69.71% de la población equivalente a 29.296 habitantes, seguida de la curva isócrona de 15 minutos cubre el 91.61% de la población equivalente a 33.244 habitantes. Solo con estas dos curvas se cubre la mayor parte de la población destacándose que toda las rutas proyectadas operan con tiempos promedio de viaje iguales o menores a 10 minutos.

Análisis de cobertura para nodos de actividad primaria en función de modos de transporte. La cobertura porcentual en la red peatonal inicia en la curva isócrona de 16 minutos con presencia en algunos nodos de actividad primaria, mientras que para la ciclorruta y el transporte público inicia en la curva isócrona de 8 minutos. La cobertura de la red peatonal se cumple en la totalidad de los nodos hasta la curva isócrona de 36 minutos, en la red de ciclorruta hasta la curva isócrona de 22 minutos y en la red de transporte hasta los 26 minutos. Se pudo determinar la cobertura porcentual de accesibilidad media global y con esto poder sustentar la conveniencia de las propuestas para la red de ciclorruta y transporte público donde se cubre con la curva isócrona menor de ocho (8) minutos el 28% y 41% y en la curva isócrona de diez (10) minutos se alcanza cubrimiento del 86% y 94% respectivamente, lo cual representa valores óptimos de acceso para servicios tan esenciales como la salud, el transporte, la educación y la seguridad, además de los servicios complementarios como lo son el gubernamental, justicia, cultural, religioso, recreo deportivo y de mercado.

## 5.2 Recomendaciones.

Se recomienda que esta metodología se desarrolle en sitios con ausencia o déficit de información relacionada con la red de transporte o en municipios con difícil acceso, siempre y cuando cuenten con información registrada en el servidor web de Mapas *Google Maps* y su extensión de *Street View*. También se sugiere que la población sea inferior a cien mil habitantes en el área urbana, lo anterior ya que municipios con población mayor a la mencionada requieren el desarrollo de un Plan de ordenamiento territorial y este a su vez necesita de trabajos más especializados en el área de movilidad, con lo cual no se cumpliría la premisa de realizar un estudio de accesibilidad a bajo coste.

Se recomienda calibrar la red de transporte con mínimo treinta (30) rutas comparativas para considerar un estudio de regresión lineal que determine un coeficiente de determinación  $R^2$  que ajuste de manera optima los datos.

A largo plazo se debe prever futuras ampliaciones de las rutas de transporte público con las zonas de expansión urbana que se encuentran desarrolladas y las que se generaran de forma necesaria para dar crecimiento al municipio.



## 6 Bibliografía.

- Agrawal, A., Udmale, S., & Sambhe, V. (2018). Extended Four-Step Travel Demand Forecasting Model for Urban Planning. In *Lecture Notes in Networks and Systems* (Vol. 10, pp. 191–198). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-3920-1\\_19](https://doi.org/10.1007/978-981-10-3920-1_19)
- Alcaldía de San José del Guaviare. (2002). *PBOT San José del Guaviare Acuerdo N°008 de 2002*. San Jose del Guaviare.
- Amézquita, L.-L., Durán, D.-F., & Fajardo, D.-H. (2016). Matriz origen-destino y eficiencia en modos de transporte urbano: un análisis de la movilidad de Bogotá. *Semestre Económico*, 19(39), 91–112. <https://doi.org/10.22395/seec.v19n39a4>
- Añez, J., De la barra, T., & Pérez, B. (1996). Dual graph representation of transport networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 30(3 PART B), 209–216. [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(95\)00024-0](https://doi.org/10.1016/0191-2615(95)00024-0)
- ArcGIS. (n.d.). Understanding ordinary kriging. Retrieved June 14, 2020, from <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.4/extensions/geostatistical-analyst/understanding-ordinary-kriging.htm>
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005>
- Batty, M. (2009, April). Accessibility: In search of a unified theory. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36(2), 191–194. <https://doi.org/10.1068/b3602ed>
- Ben-Akiva, M., & Lerman, S. (1979). Disaggregate travel and mobility choice models and measures of accessibility. *Behavioural Travel Modelling*, 654–679.
- Bunge, W. (1996). *Lund Studies in Geography, Series C. No. 1*. Retrieved from <https://ci.nii.ac.jp/naid/10004631608/>
- Burns, L. D. (1980). Transportation Temporal and Spatial Components of Accessibility. *Geographical Analysis*, 13(2), 185–187. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1981.tb00726.x>
- Caldwell, T. (1961). On finding minimum routes in a network with turn penalties. *Communications of the ACM*, 4(2), 107–108. <https://doi.org/10.1145/366105.366184>
- Cardona, S. (2018). *Propuesta metodológica para el cálculo de las penalidades por giro en modelos de accesibilidad*. Universidad Nacional de Colombia.
- Cardona, S., Escobar, D., & Moncada, C. A. (2018a). Análisis de Accesibilidad como Herramienta para la Generación de Zonas Libres de Tráfico. Caso del Municipio de La Dorada en Colombia. *Informacion Tecnológica*, 29(5), 203–214.

<https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000500203>

- Cardona, S., Escobar, D., & Moncada, C. A. (2018b). Calculation of turns costs in accessibility models. Case study: Manizales, Colombia. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(56), 2777–2791. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.86282>
- Cardona, S., Escobar, D., & Moncada, C. A. (2018c). Saving Travel Time as an Urban Planning Instrument. Case Study: Manizales, Colombia. *Modern Applied Science*, 12(6), 44. <https://doi.org/10.5539/mas.v12n6p44>
- Cesario, F. J. (1974). More on the generalized trip distribution model. *Journal of Regional Science*, 14(3), 389–397. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.1974.tb00461.x>
- Chicago Area Transportation. (1959). *Chicago Area Transportation Study: Data Projections*. (Chicago Area Transportation Study, Ed.) (Vol. 1). Chicago. Retrieved from <https://archive.org/details/chicagoareatrans01chic/mode/2up>
- Cui, M., & Levinson, D. (2018). Full cost accessibility. *Journal of Transport and Land Use*, 11(1), 661–679. <https://doi.org/10.5198/jtlu.2018.1042>
- Dalvi, M. Q., & Martin, K. M. (1976). The measurement of accessibility: Some preliminary results. *Transportation*, 5(1), 17–42. <https://doi.org/10.1007/BF00165245>
- DANE. (2018). Geoportal del DANE - Geovisor CNPV 2018. Retrieved April 11, 2020, from <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/cnpv-2018/?lt=2.555997619282435&lg=-72.63435039046318&z=14>
- Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1(1), 269–271. <https://doi.org/10.1007/BF01386390>
- Duarte, A. T., Mendoza, Y. C., Arévalo, A., & Guerrero, T. E. (2015). Modelación de la elección modal en transporte público urbano a partir de la introducción de un nuevo modo. *REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA)*, 1(25). <https://doi.org/10.24054/16927257.v25.n25.2015.2369>
- Escobar, D. (2008). *Instrumentos y metodología de planes de movilidad y transporte en las ciudades medias colombianas*. UPC. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2117/93935>
- Escobar, D., Duque, J. P., & Salas, A. (2014). Accesibilidad como herramienta de planeación urbana. Caso de estudio: Redireccionamiento vial en Riosucio (Caldas - Colombia). *AVANCES: Investigación En Ingeniería*, 11(2), 9. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.231>
- Escobar, D., & Garcia, F. (2012a). *Análisis de priorización de proyectos viales Caso Manizales (Colombia)*. (Editorial Blanecolor S.A.S., Ed.) (Primera). Manizales:



- Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/10941/6/9789587611298.2012.pdf>
- Escobar, D., & Garcia, F. J. (2012b). *Diagnostico de la Movilidad Urbana de Manizales*. (Universidad Nacional de Colombia, Ed.). Alcaldía de Manizales.
- Escobar, D., Urazán, C., & Moncada, C. (2017). Análisis de cobertura urbana de los nodos de actividad primaria mediante un estudio de accesibilidad territorial en Quibdó (Colombia). *Informacion Tecnologica*, 28(5), 177–190. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642017000500018>
- Fleet, C., & Robertson, S. (1968). Trip Generation in the Transportation Planning Process. *Committee on Origin and Destination*, (240).
- Geurs; Ritsema van Eck, J. . (2001). *Accessibility measures: review and applications. Evaluation of accessibility impacts of land-use transportation scenarios, and related social and economic impact | PBL Netherlands Environmental Assessment Agency*.
- Geurs, K. T., & van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005>
- Giraldo, R. (2011). Introduccion a la Geoestadística. In *Introduccion a la Geoestadística lineal* (pp. 11–24). <https://doi.org/10.4272/978-84-9745-347-9.ch1>
- Gobernación del Guaviare. (2017). Municipio de San Jose del Guaviare. Retrieved from <http://www.guaviare.gov.co/territorios/municipio-de-san-jose-del-guaviare-950059>
- Guzman, L. A., Oviedo, D., & Rivera, C. (2017). Assessing equity in transport accessibility to work and study: The Bogotá region. *Journal of Transport Geography*, 58, 236–246. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.12.016>
- Hansen, W. G. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Planning Association*, 25(2), 73–76. <https://doi.org/10.1080/01944365908978307>
- IGAC. (2004). *Aspectos prácticos de la adopción del marco geocéntrico nacional de referencia MAGNA-SIRGAS como datum oficial de Colombia*. Bogota D.C.
- IGAC. (2020). Resolución 471 de 2020 | Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Retrieved from <https://igac.gov.co/es/contenido/resolucion-471-de-2020>
- Ingram, D. R. (1971). The Concept of Accessibility: A Search for an Operational Form. *Regional Studies*, 5(2), 101–107. <https://doi.org/10.1080/09595237100185131>
- Lahoorpoor, B., & Levinson, D. M. (2020). The Transit Travel Time Machine: Comparing Three Different Tools for Travel Time Estimation. In *Transportation Research Board*,

- Washington, DC. (p. 20). Retrieved from <https://transportist.org/2019/11/19/the-transit-travel-time-machine-comparing-three-different-tools-for-travel-time-estimation/>
- Marvin, S., & Guy, S. (1999). POLICY FORUM: Towards a new logic of transport planning? *Town Planning Review*, 70(2), 139. <https://doi.org/10.3828/tpr.70.2.e7856q7l68802614>
- Mitullah, W. V., Vanderschuren, M., & Khayesi, M. (2017). *Non-motorized transport integration into urban transport planning in Africa. Non-Motorized Transport Integration into Urban Transport Planning in Africa*. <https://doi.org/10.4324/9781315598451>
- Montoya, J. A. (2019). *Análisis de cobertura, mediante accesibilidad geográfica, para sistemas de paraderos de transporte público colectivo urbano*. Universidad nacional de Colombia, Manizales.
- Montoya, J. A., Escobar, D., & Younes, C. (2018). Coverage of educational centers from territorial accessibility in the municipality of Pitalito - Huila, Colombia. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(61), 3021–3033. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.87310>
- Ortúzar, J. D., & Willumsen, L. G. (2008). *Modelos de transporte. Modelling Transport*. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119993308>
- Owens, S. (1995). From “predict and provide” to “predict and prevent”?: Pricing and planning in transport policy. *Transport Policy*, 2(1), 43–49. [https://doi.org/10.1016/0967-070X\(95\)93245-T](https://doi.org/10.1016/0967-070X(95)93245-T)
- Patriksson, M. (1994). The Traffic Assignment Problem: Models and Methods. *Annals of Physics*, 54(2), xii, 223 p.
- Perilla, D., Escobar, D., & Cardona, S. (2018). New transportation infrastructure impact in terms of global average access - intersection “La Carola” Manizales (Colombia) case study. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(5), 215–227. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.812>
- Pirie, G. H. (1979). Measuring Accessibility: A Review and Proposal. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 11(3), 299–312. <https://doi.org/10.1068/a110299>
- Sarmiento, I., Muñoz, J. D., & Ángel, C. A. (2000). Análisis de la Accesibilidad Vial en la Región del Occidente Colombiano. *IV Congreso de Ingeniería Del Transporte*, (June 2000).
- SENA Guaviare. (2015). Municipio de San José del Guaviare (Amazonía Colombiana) Guía de Campo Avifauna del Humedal San José. Retrieved from <https://fieldguides.fieldmuseum.org/sites/default/files/rapid-color-guides->

- pdfs/707\_aves\_del\_humedal\_san\_jose.pdf
- Spiess, H., & Florian, M. (1989). Optimal strategies: A new assignment model for transit networks. *Transportation Research Part B*, 23(2), 83–102. [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(89\)90034-9](https://doi.org/10.1016/0191-2615(89)90034-9)
- Talen, E., & Anselin, L. (1998). Assessing spatial equity: An evaluation of measures of accessibility to public playgrounds. *Environment and Planning A*, 30(4), 595–613. <https://doi.org/10.1068/a300595>
- Te Brömmelstroet, M., & Bertolini, L. (2011, March). The role of transport-related models in urban planning practice. *Transport Reviews*. Routledge. <https://doi.org/10.1080/01441647.2010.541295>
- Transportation Research Board. (2010). Highway Capacity Manual, Fifth Edition.
- Vega, A. (2011). A multi-modal approach to sustainable accessibility in Galway. *Regional Insights*, 2(2), 15–17. <https://doi.org/10.1080/20429843.2011.9727923>
- Walsh, S., Cullinan, J., & Flannery, D. (2017). The Impact of Proposed Higher Education Reforms on Geographic Accessibility to Universities in Ireland. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 10(4), 515–536. <https://doi.org/10.1007/s12061-016-9193-3>
- Wang, F., & Xu, Y. (2011). Estimating O-D travel time matrix by Google Maps API: Implementation, advantages, and implications. *Annals of GIS*, 17(4), 199–209. <https://doi.org/10.1080/19475683.2011.625977>
- Woldeamanuel, M. G. (1975). *Concepts in urban transportation planning: the quest for mobility, sustainability and quality of life*.
- Wright, P. H., Ashford, N. J., & Stammer, R. J. (1997). *Transportation engineering: planning and design*. J. Wiley.
- Yiannakoulis, N., Bland, W., & Svenson, L. W. (2013). Estimating the effect of turn penalties and traffic congestion on measuring spatial accessibility to primary health care. *Applied Geography*, 39, 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.12.003>
- Zuluaga, J. D., & Escobar, D. (2017). Análisis de accesibilidad territorial de la región noroccidente de Colombia. *Espacios*, 38(6).



## **7 Anexos.**

**7.1 Anexo A. Cálculo de población por barrios.**

**7.2 Anexo B. Registro Fotográfico de sitios de interés del proyecto.**

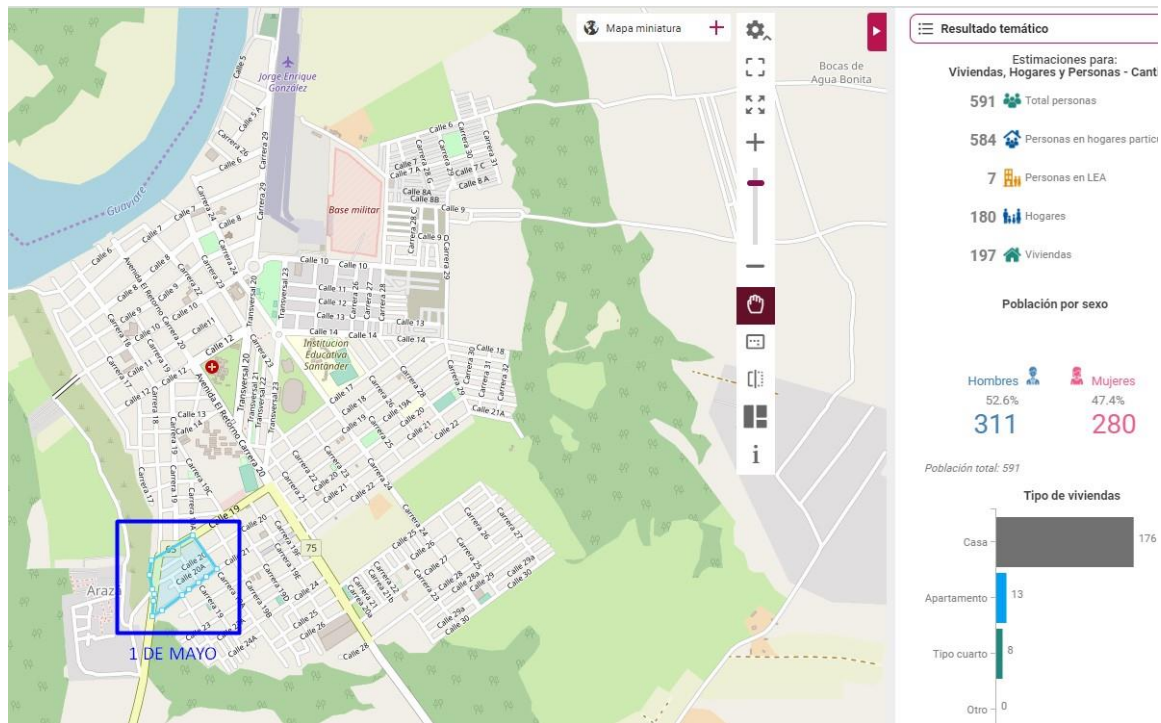
**7.3 Anexo C. Velocidades operativas de los arcos viales.**

**7.4 Anexo D. Calibración de la red.**

# **Anexo A**

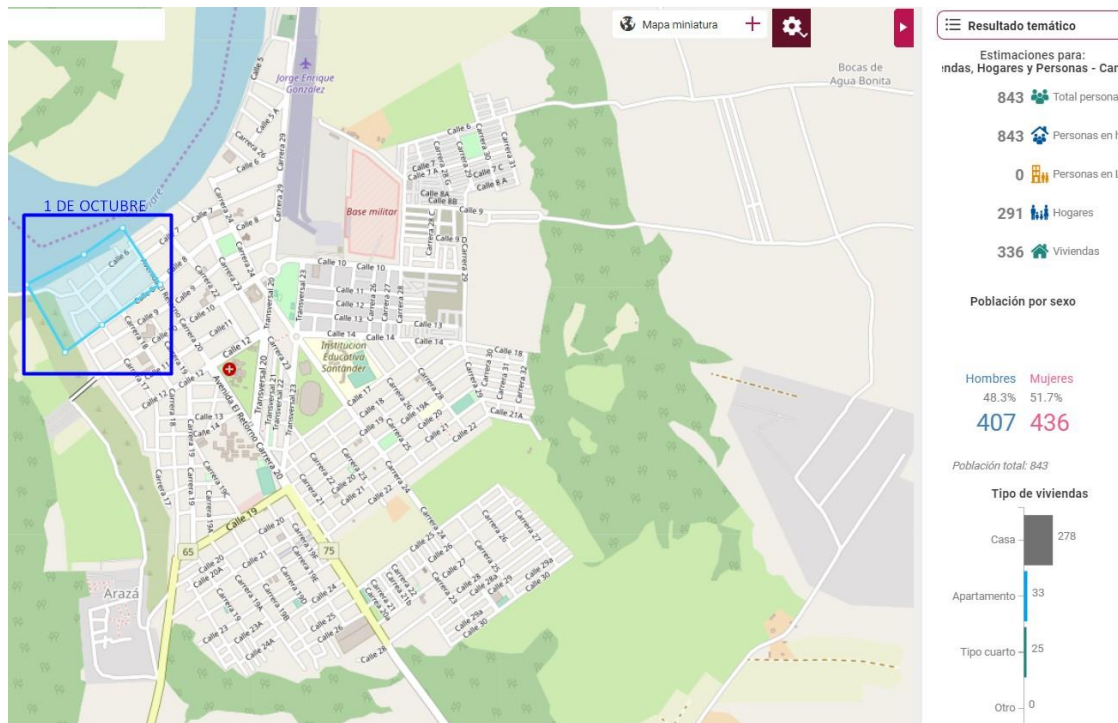
## **Cálculo de población por barrios.**

Figura A-1: Población del barrio 1 de Mayo.



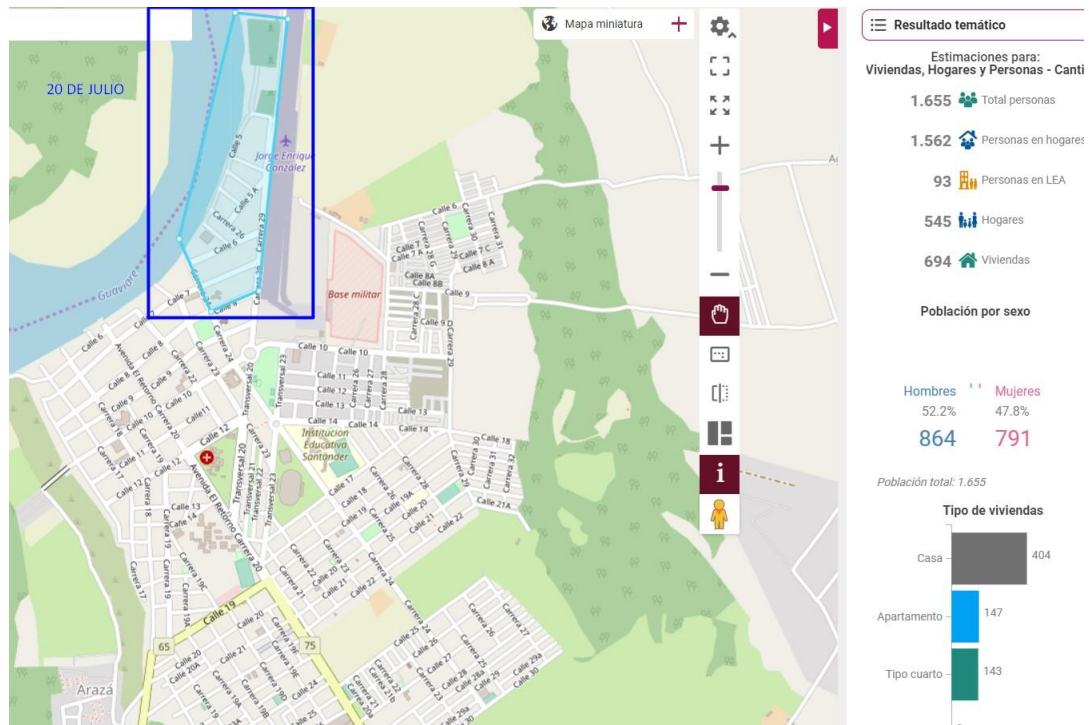
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-2: Población del barrio 1 de Octubre.



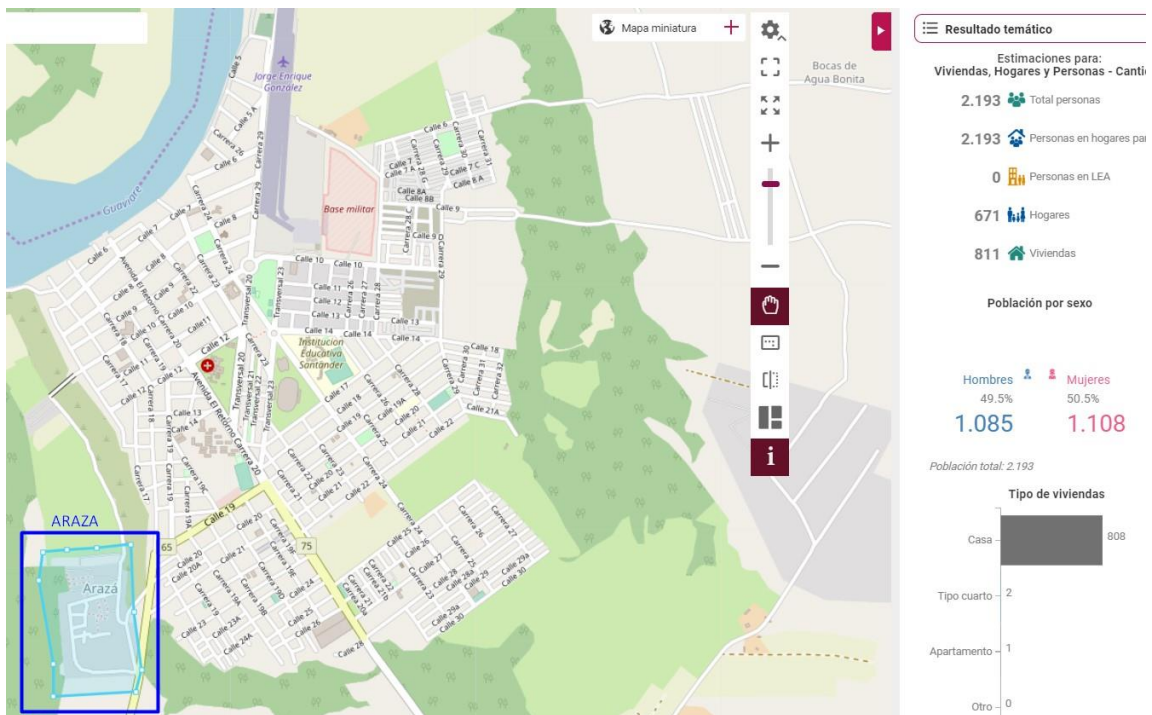
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

**Figura A-3:** Población del barrio 20 de Julio.



Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

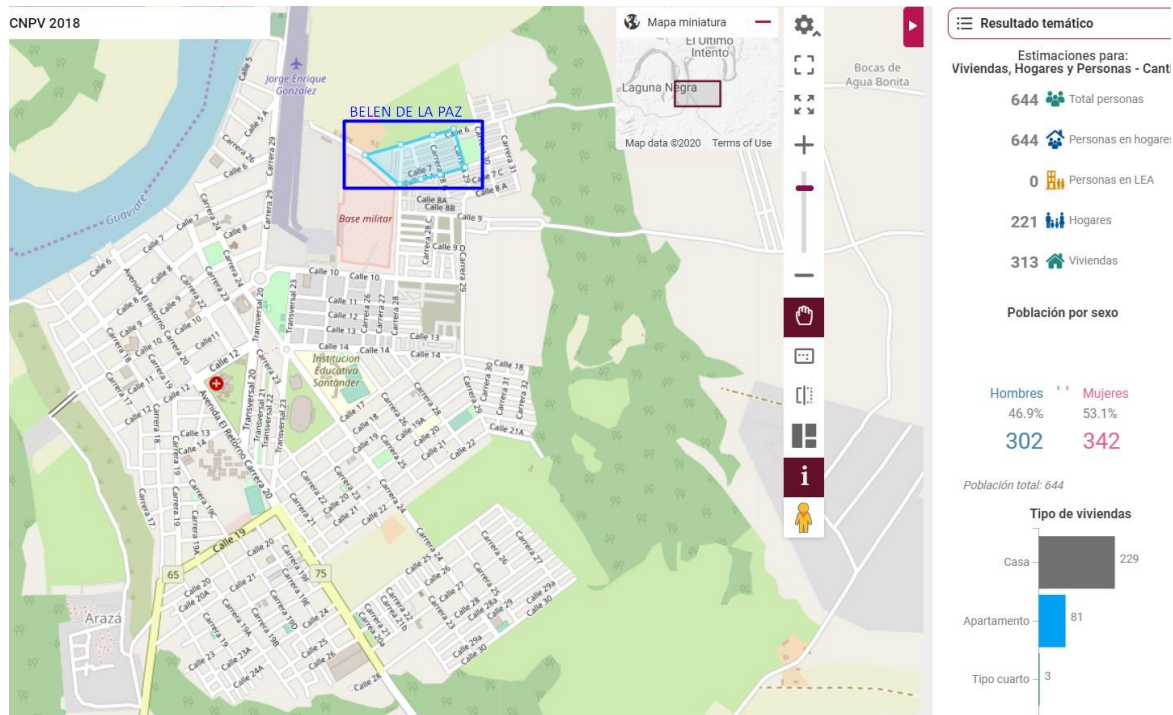
**Figura A-4:** Población del Sector Arazá.



Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

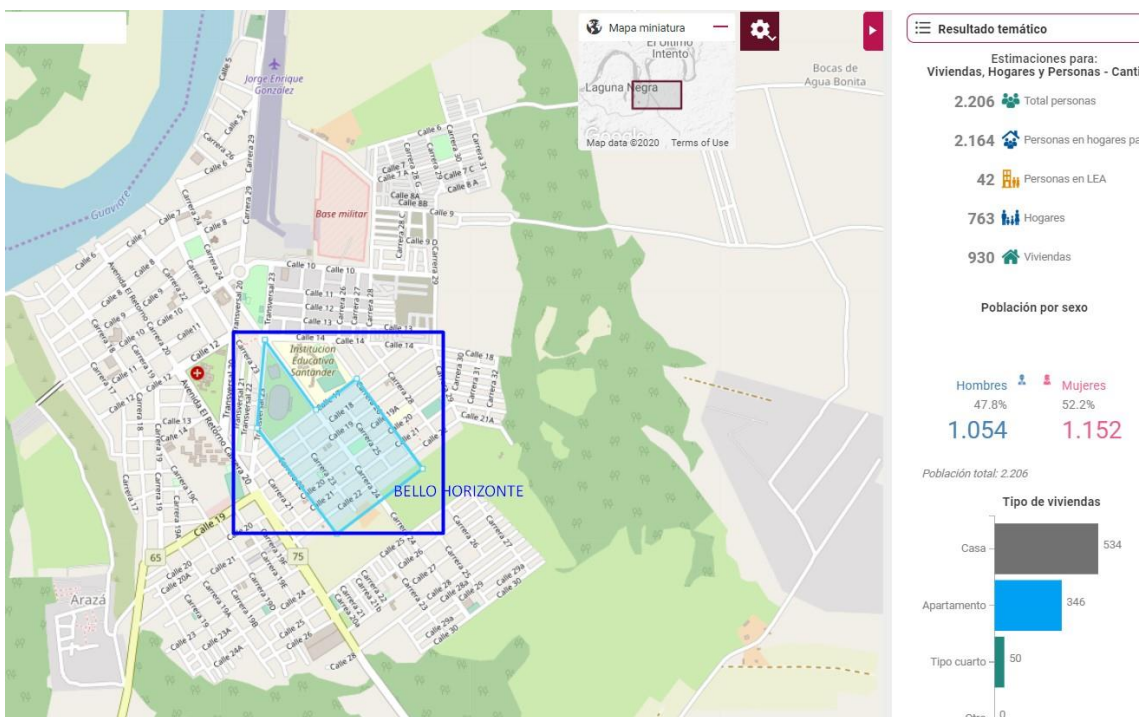


Figura A-5: Población del barrio Belén de la Paz.



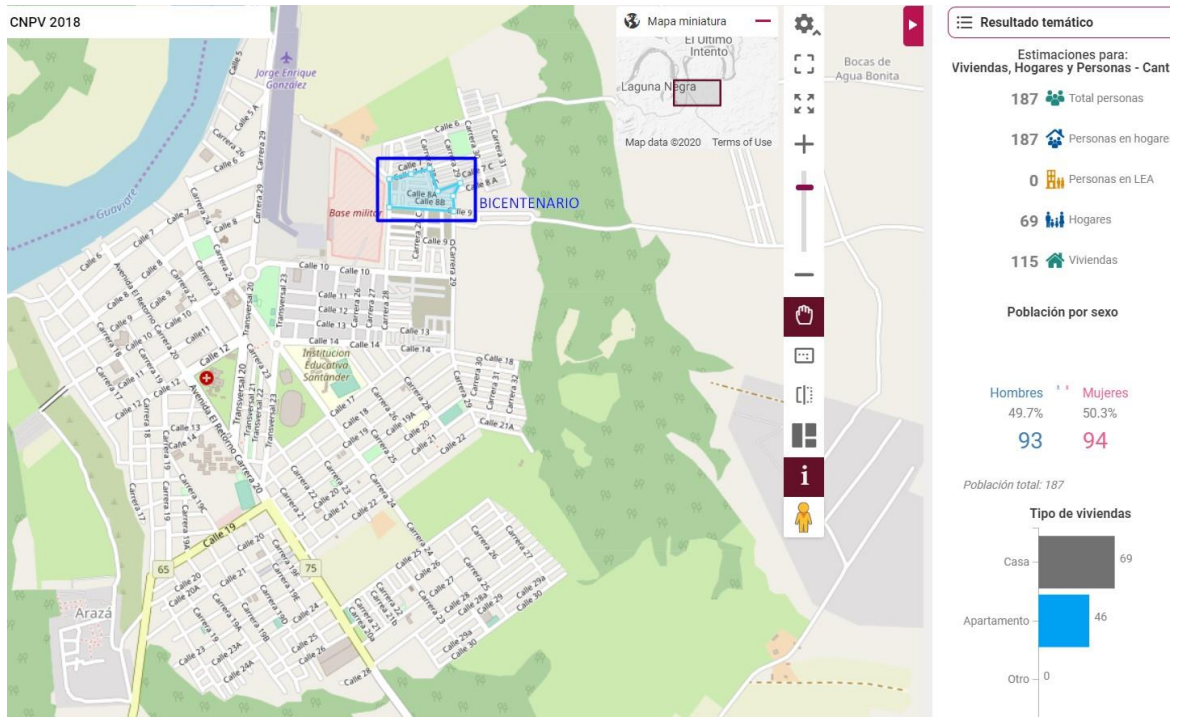
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-6: Población del barrio Bello Horizonte.



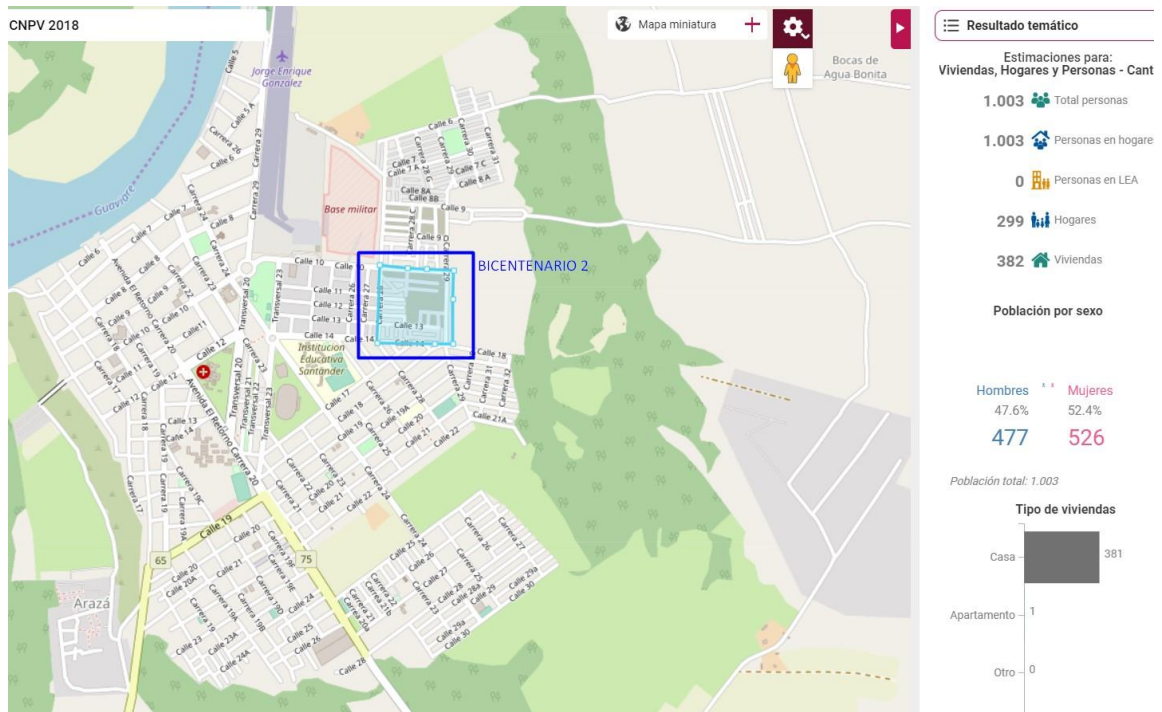
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-7: Población del barrio Bicentenario.



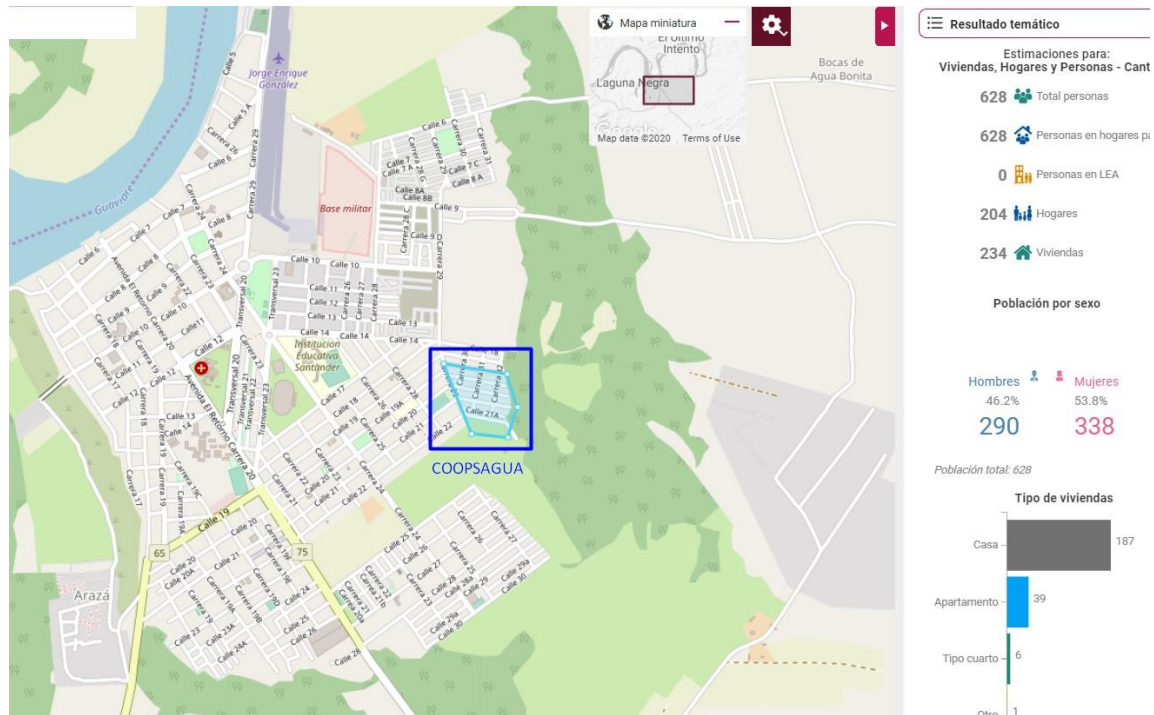
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-8: Población del barrio Bicentenario 2.



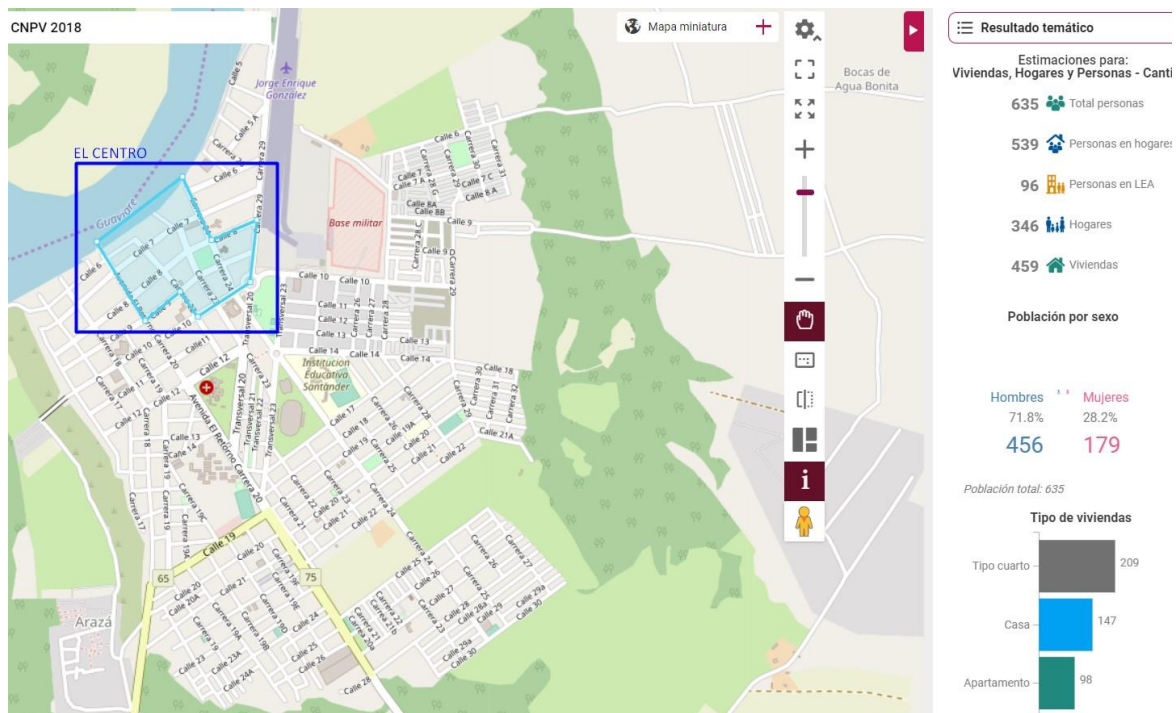
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-9: Población del barrio Coopsagua.



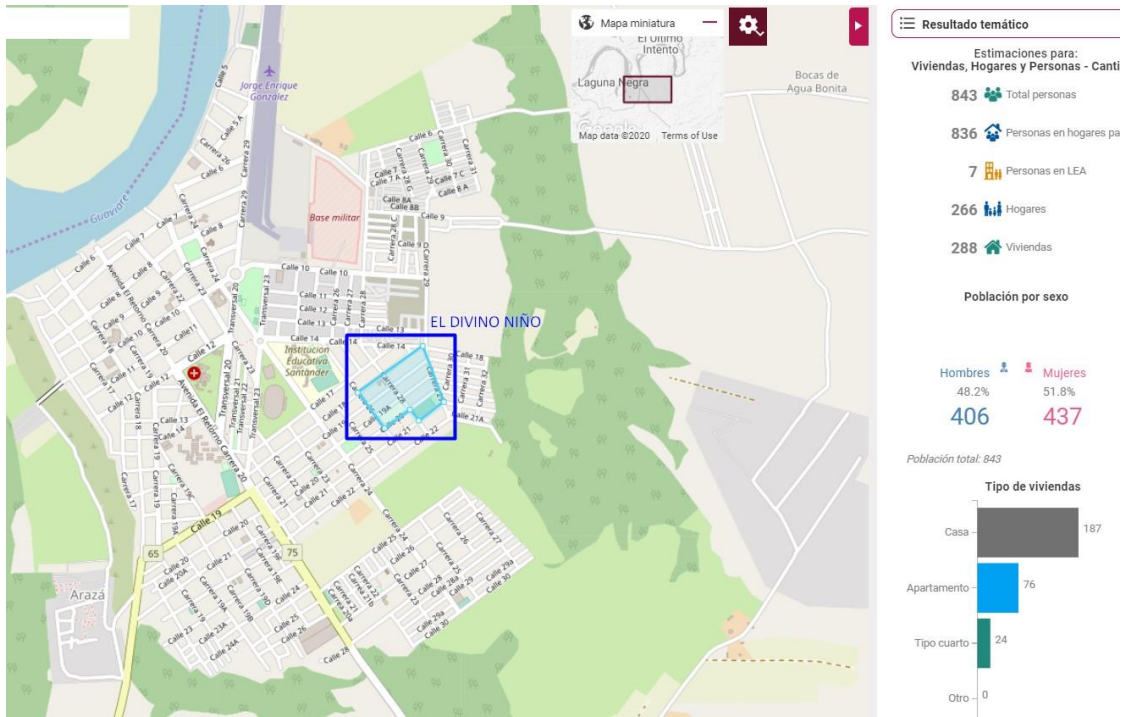
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-10: Población del barrio El centro.



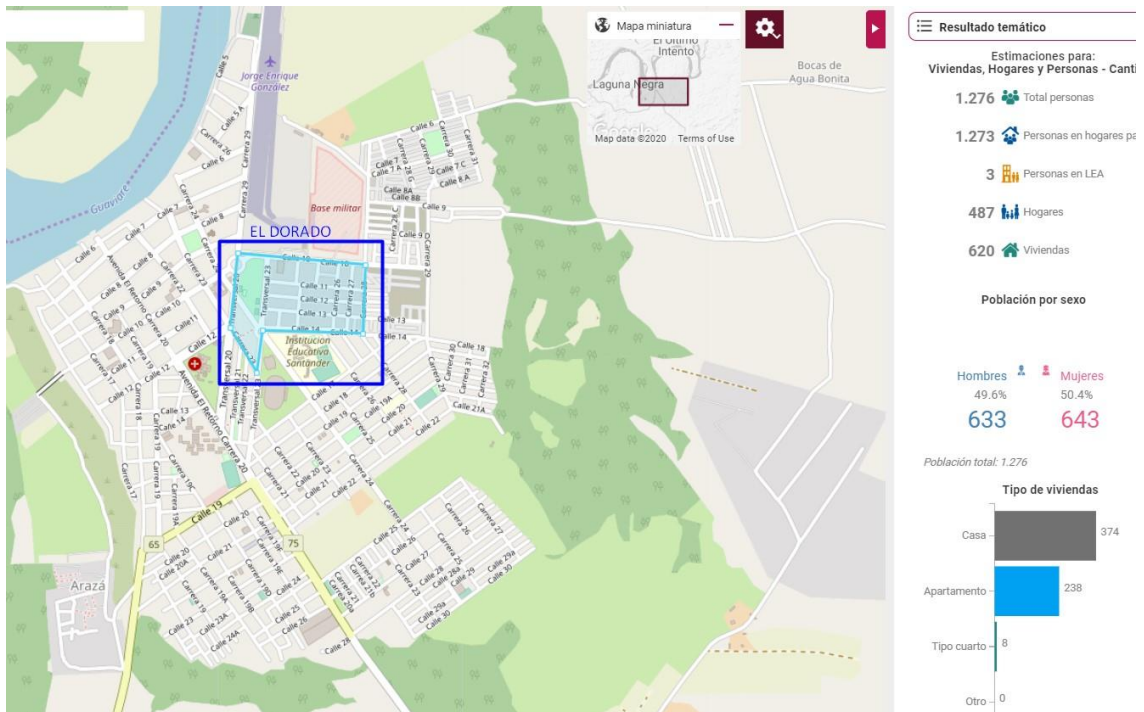
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

**Figura A-11:** Población del barrio El divino niño.



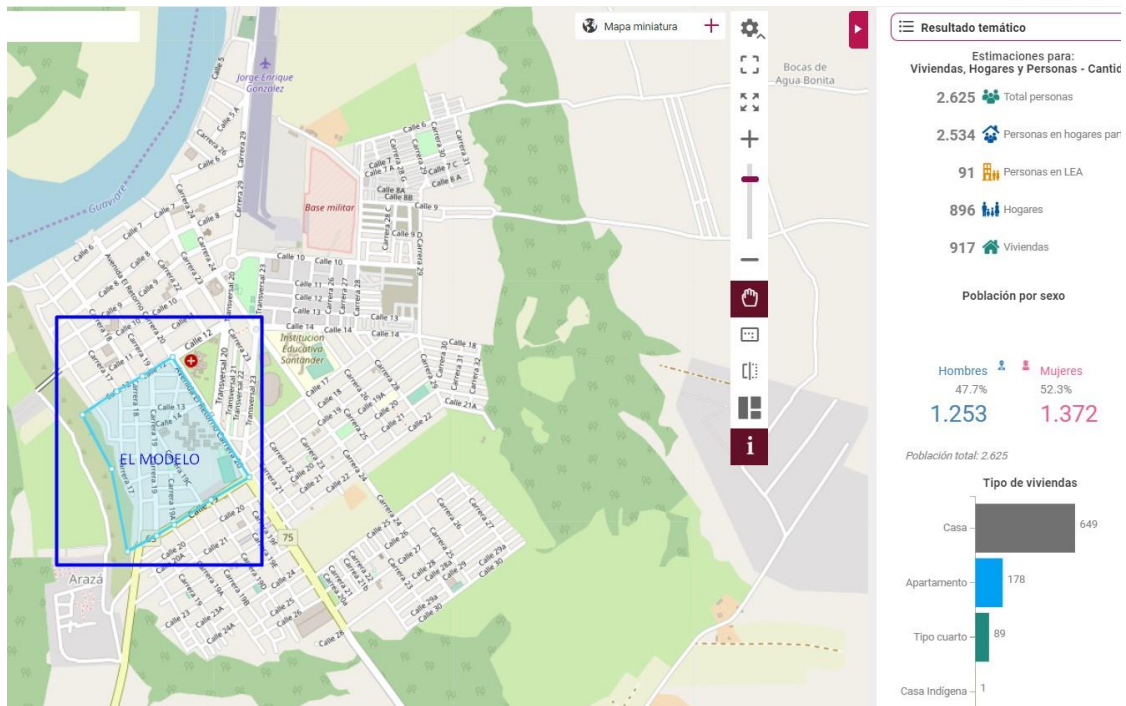
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

**Figura A-12:** Población del barrio El Dorado.



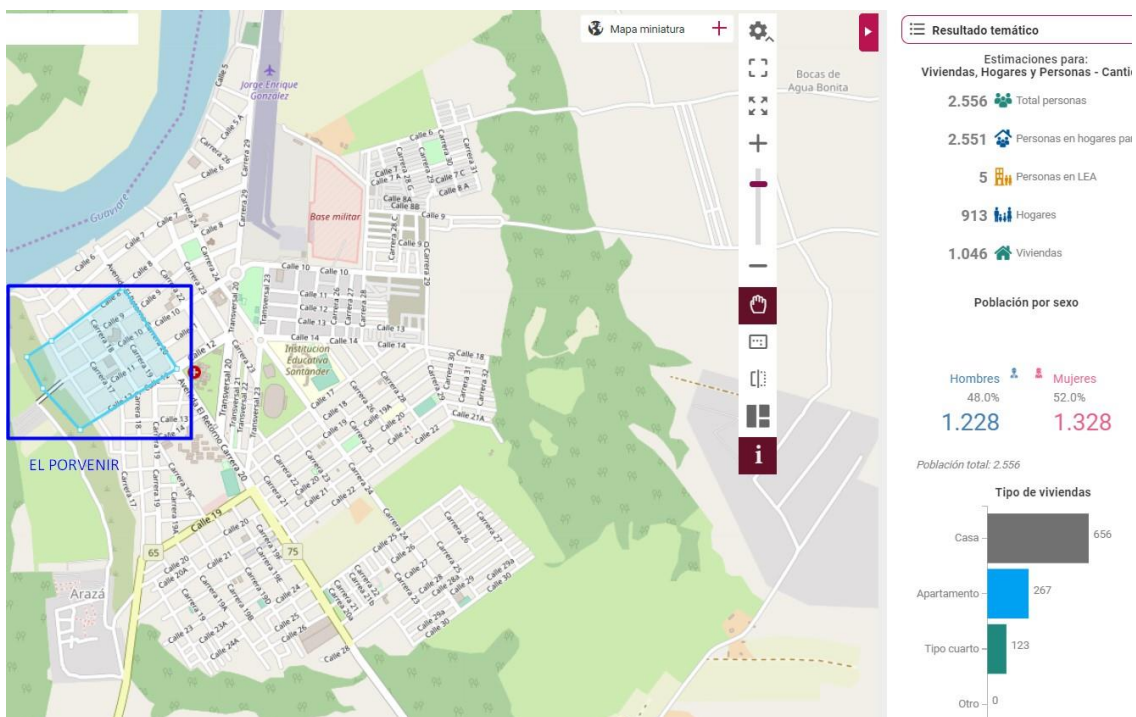
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-13: Población del barrio El modelo.



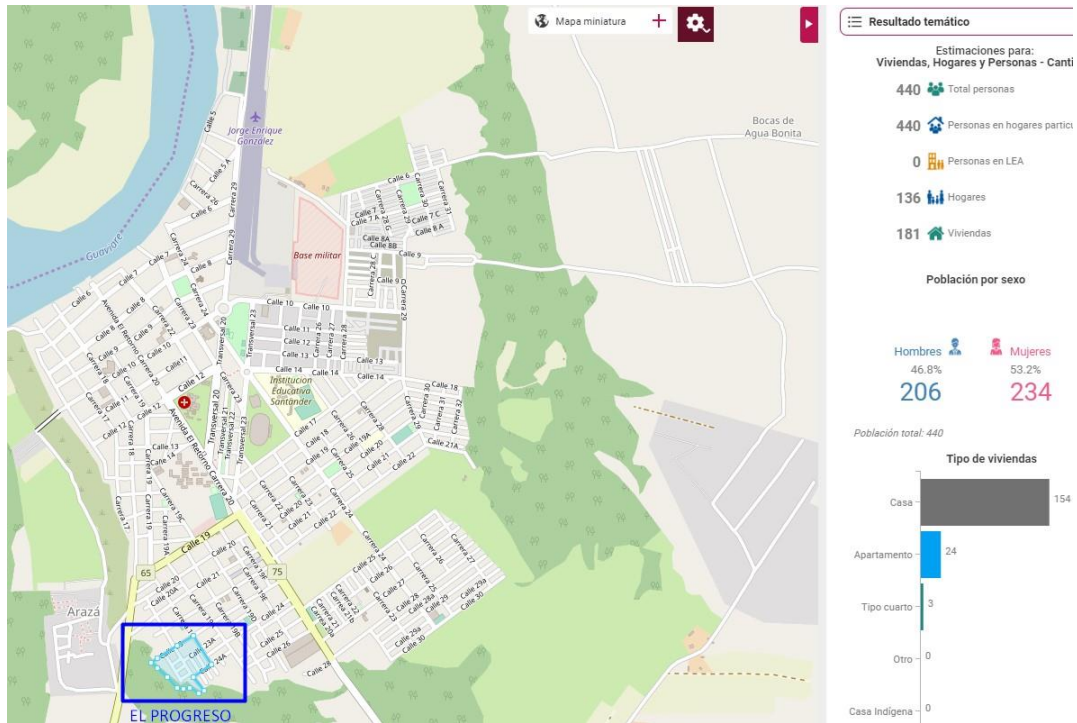
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-14: Población del barrio El Porvenir.



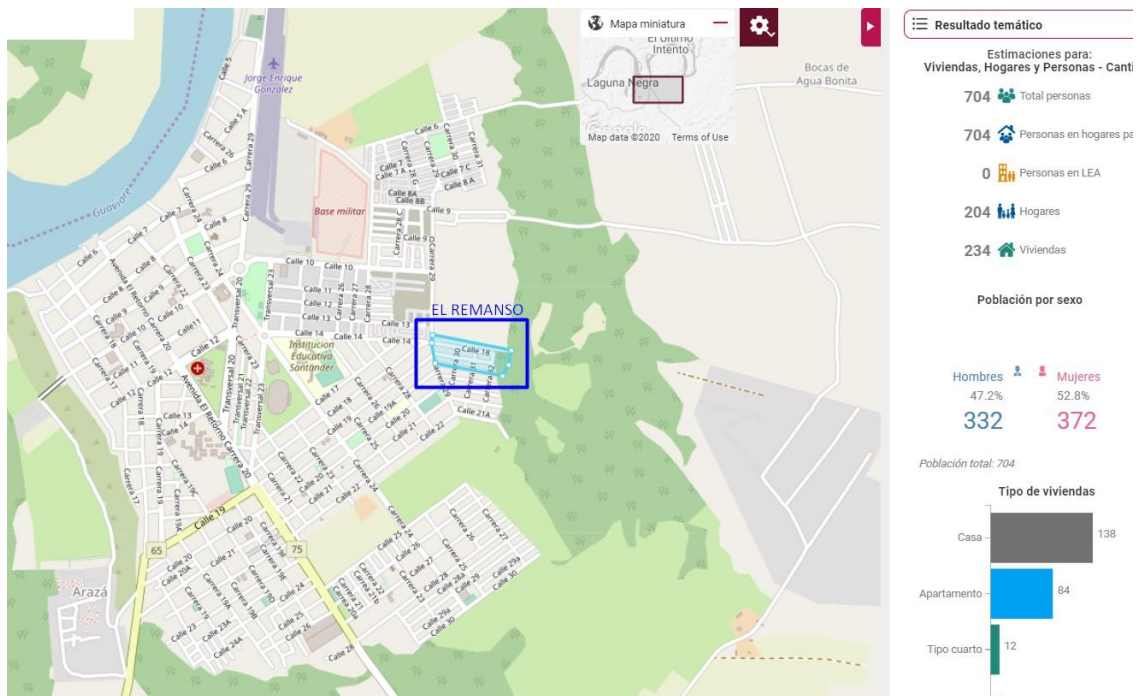
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

**Figura A-15:** Población del barrio El Progreso.



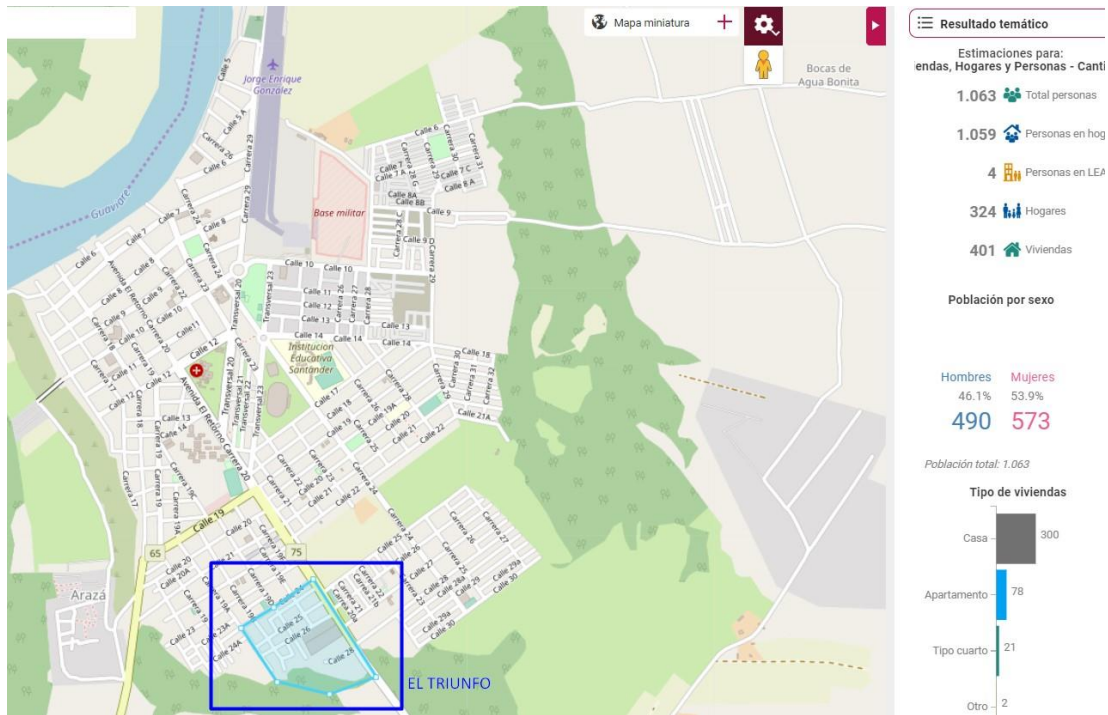
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

**Figura A-16:** Población del barrio El Remanso.



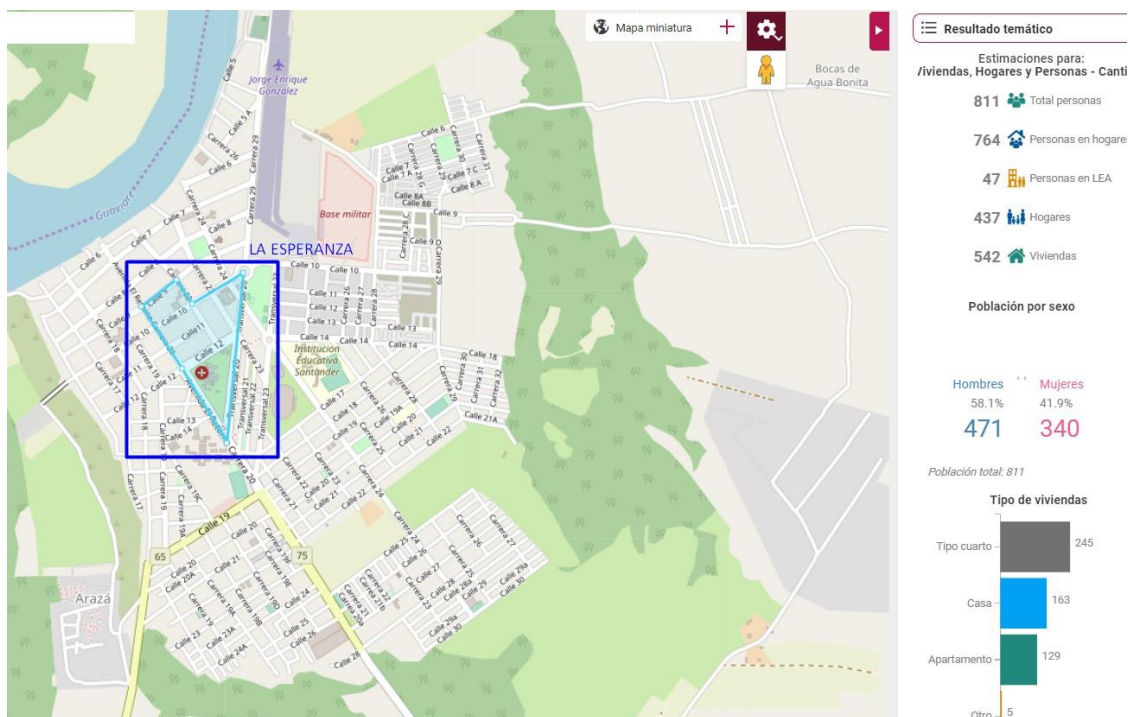
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-17: Población del barrio El Triunfo.



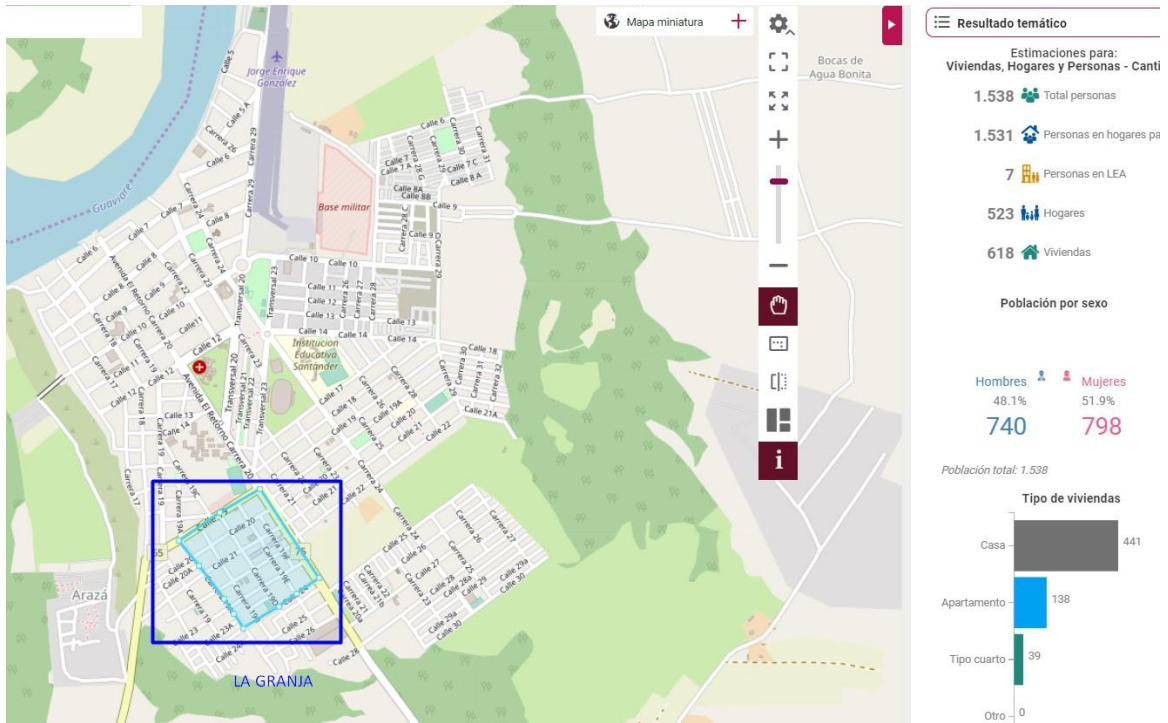
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-18: Población del barrio La Esperanza.



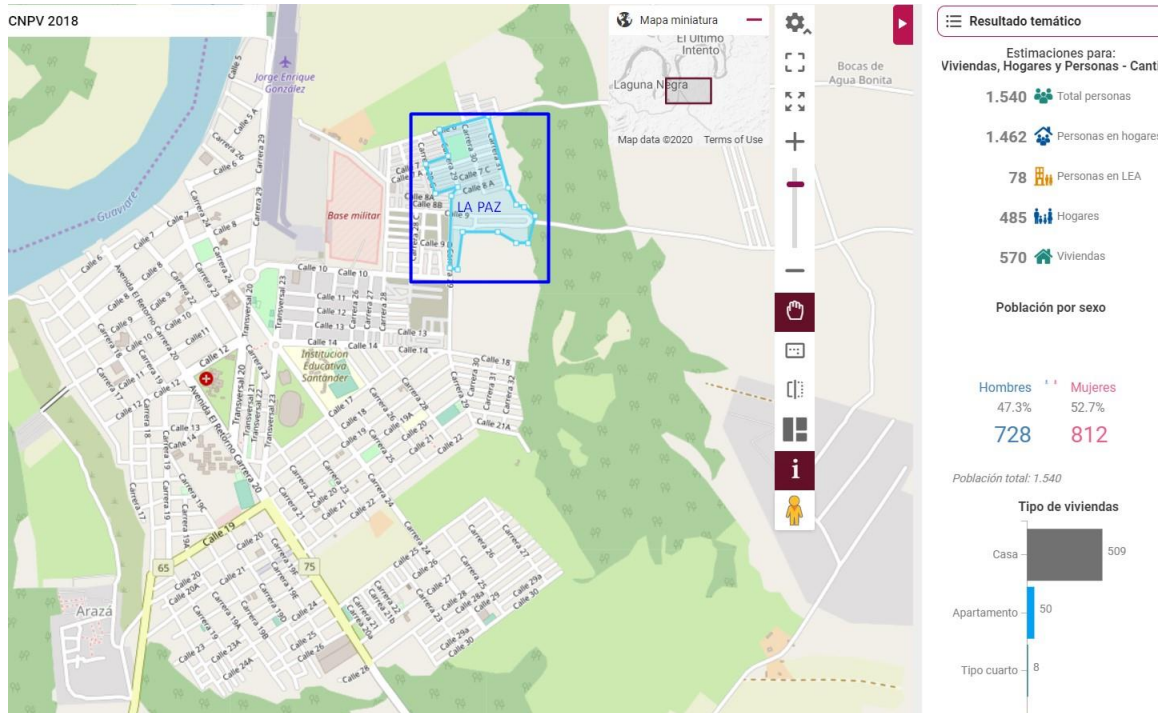
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

**Figura A-19:** Población del barrio La Granja.



Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

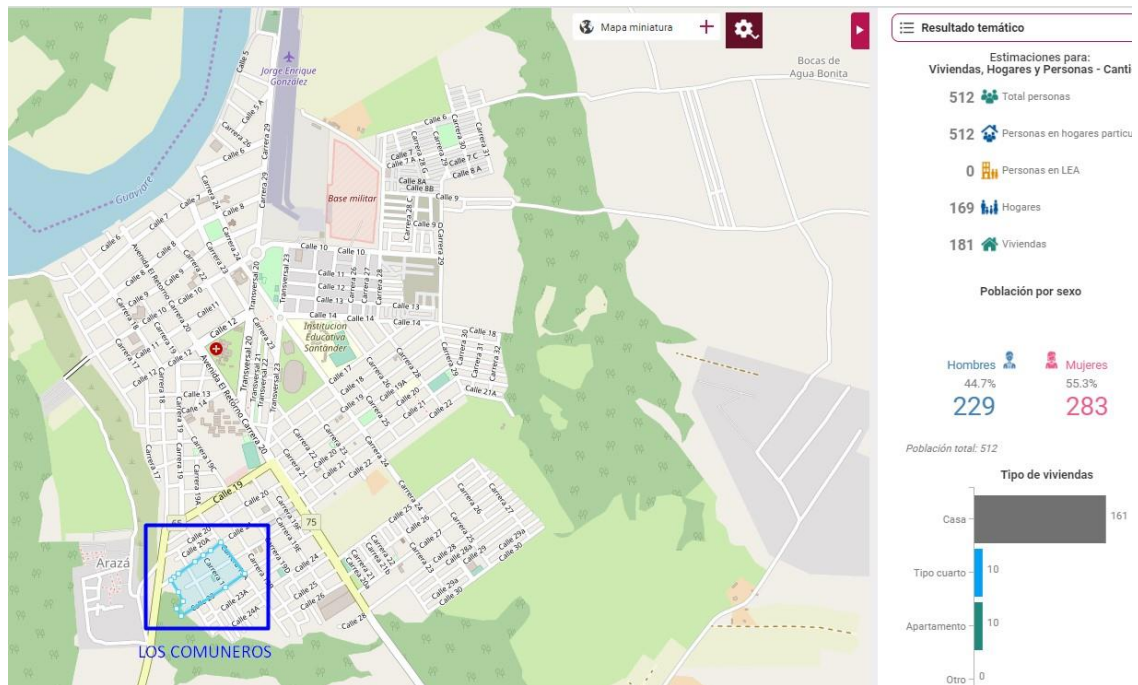
**Figura A-20:** Población del barrio La Paz.



Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

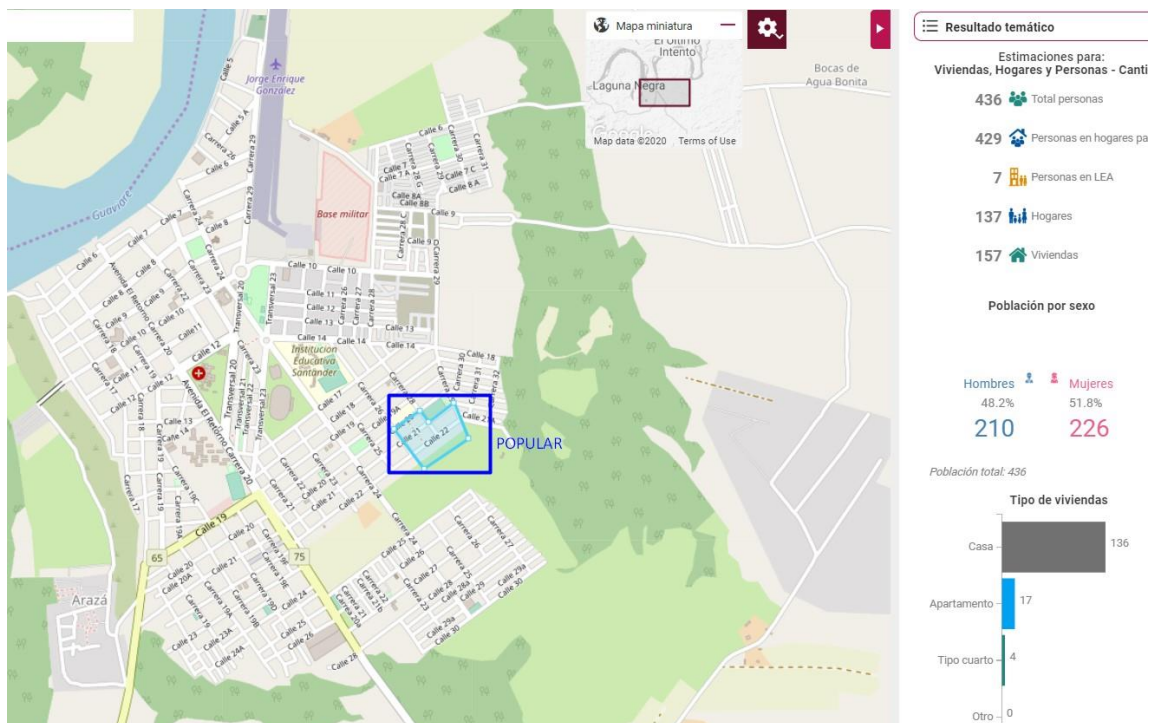


Figura A-21: Población del barrio Los Comuneros.



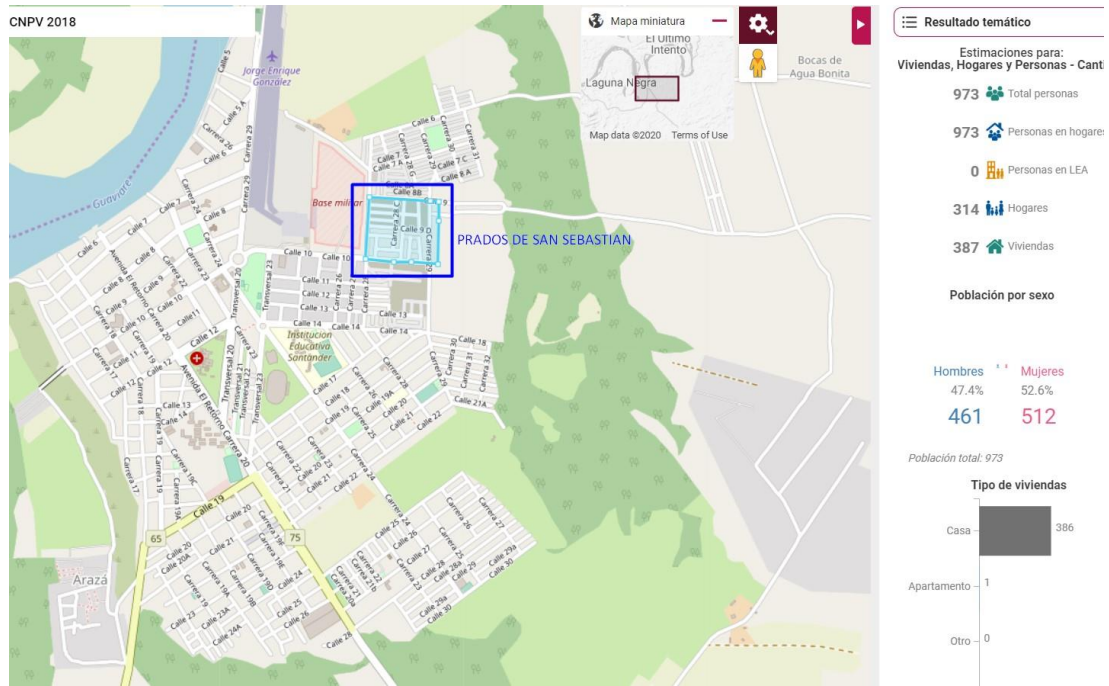
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-22: Población del barrio Popular.



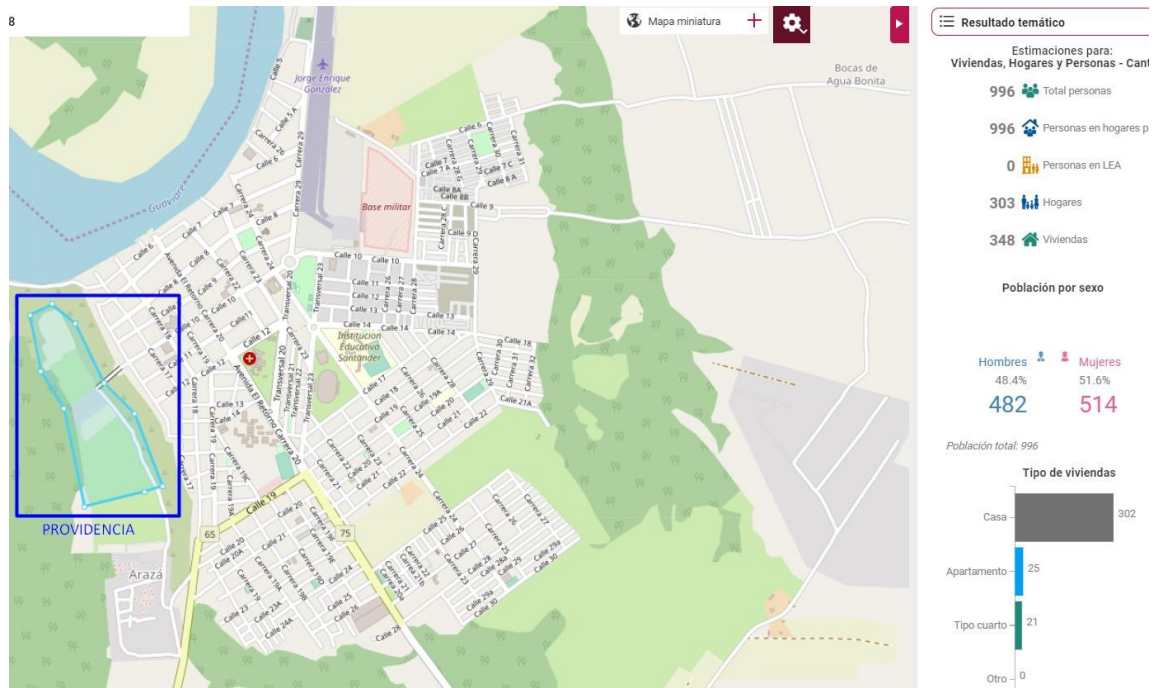
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

**Figura A-23:** Población del barrio Prados de San Sebastián.



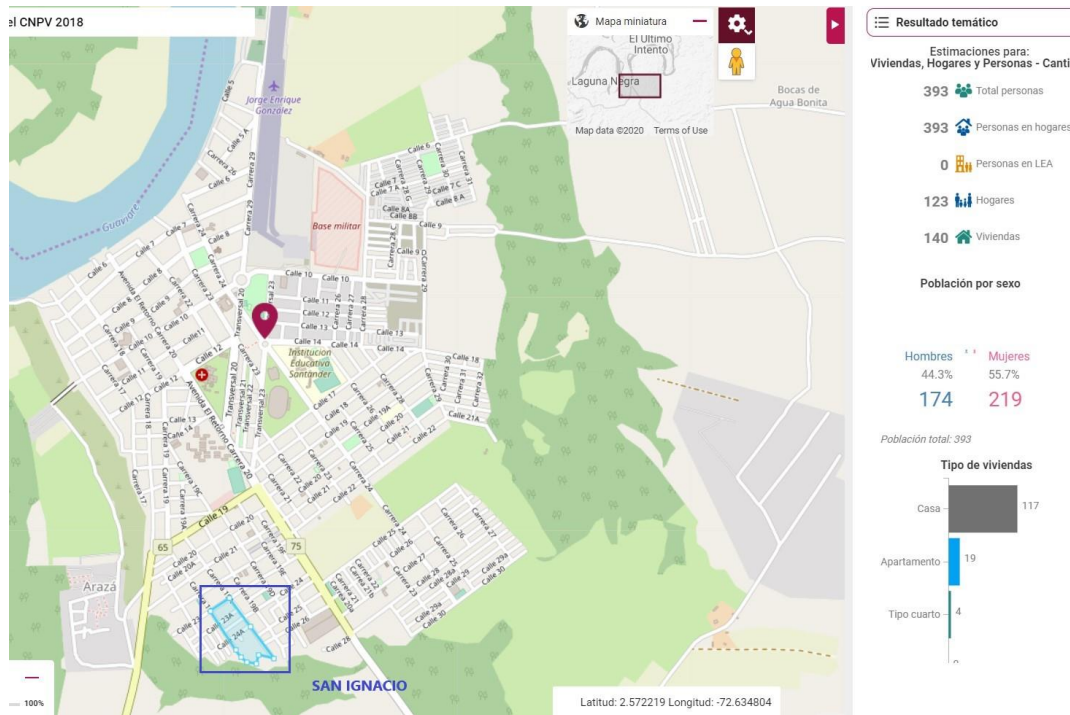
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

**Figura A-24:** Población del Sector Providencia.



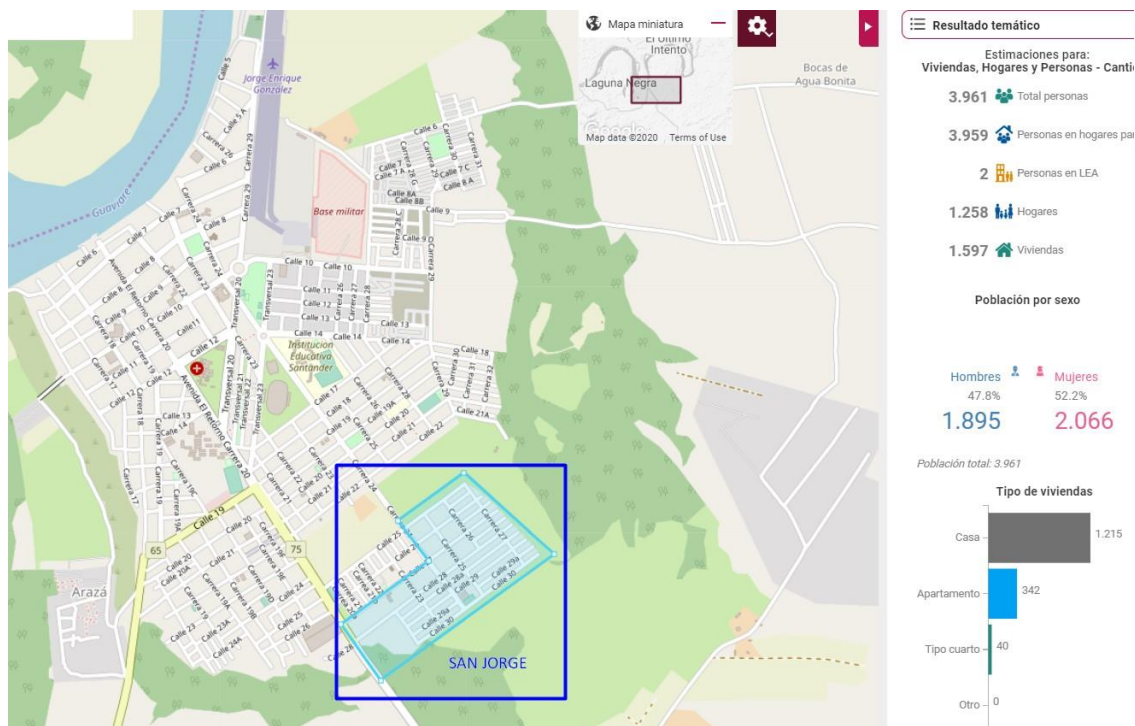
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-25: Población del barrio San Ignacio.



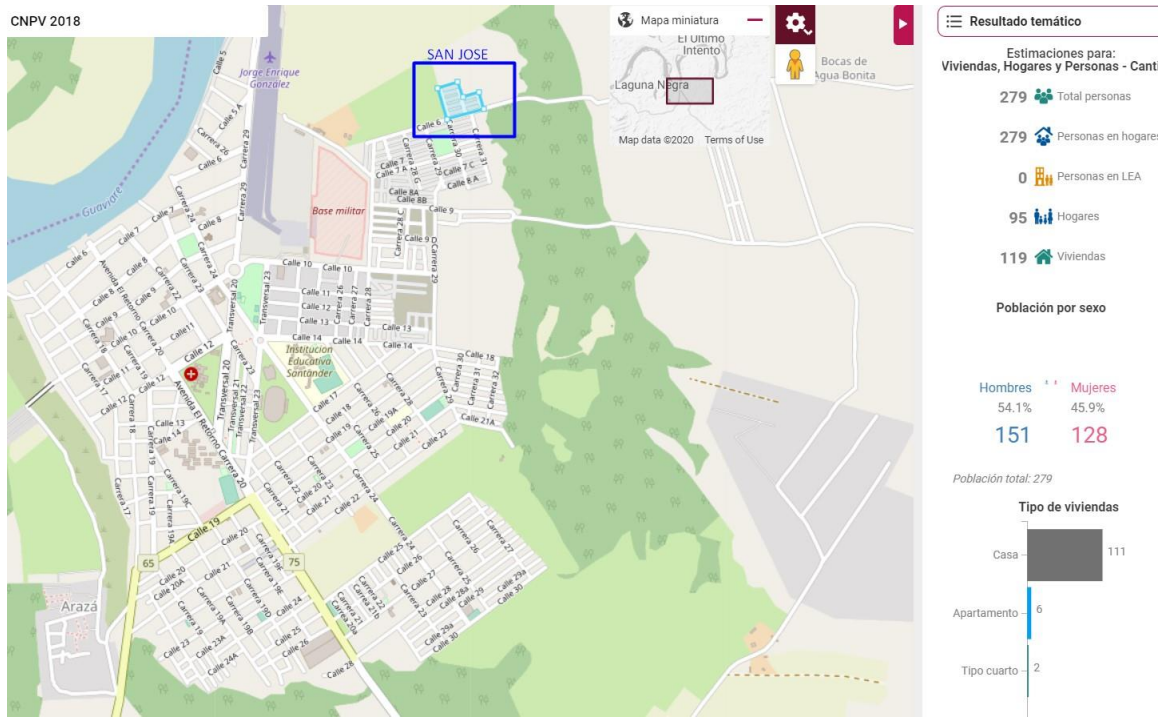
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-26: Población del barrio San Jorge.



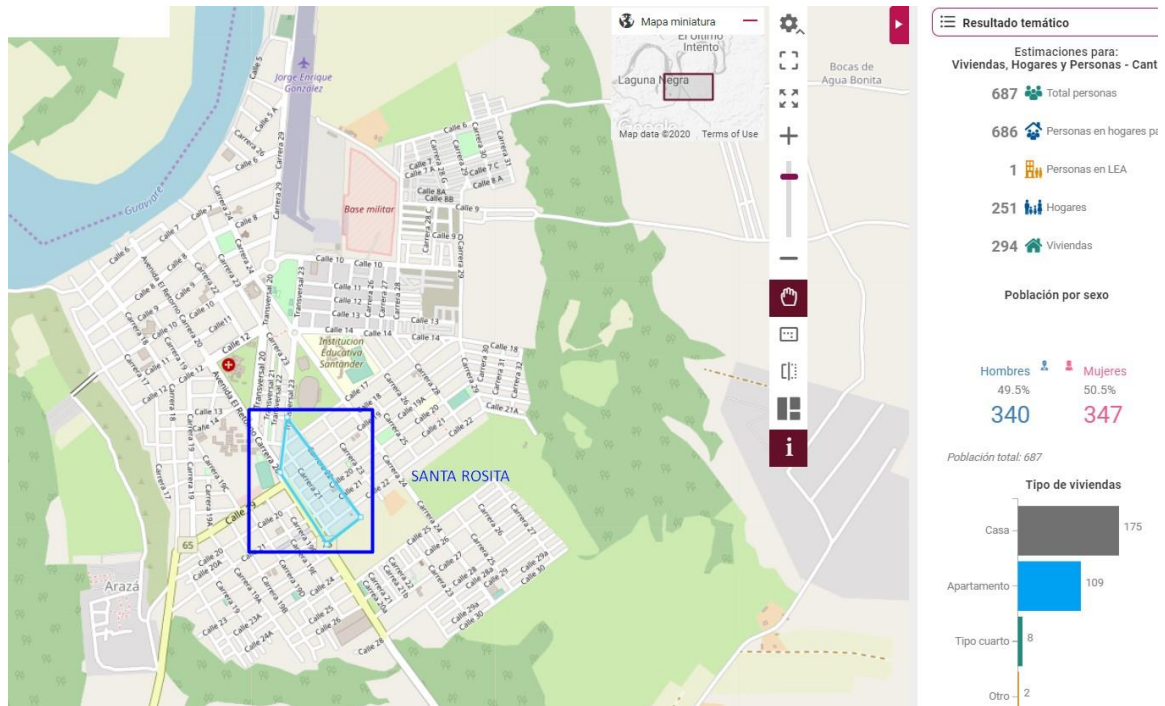
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

**Figura A-27:** Población del barrio San José.



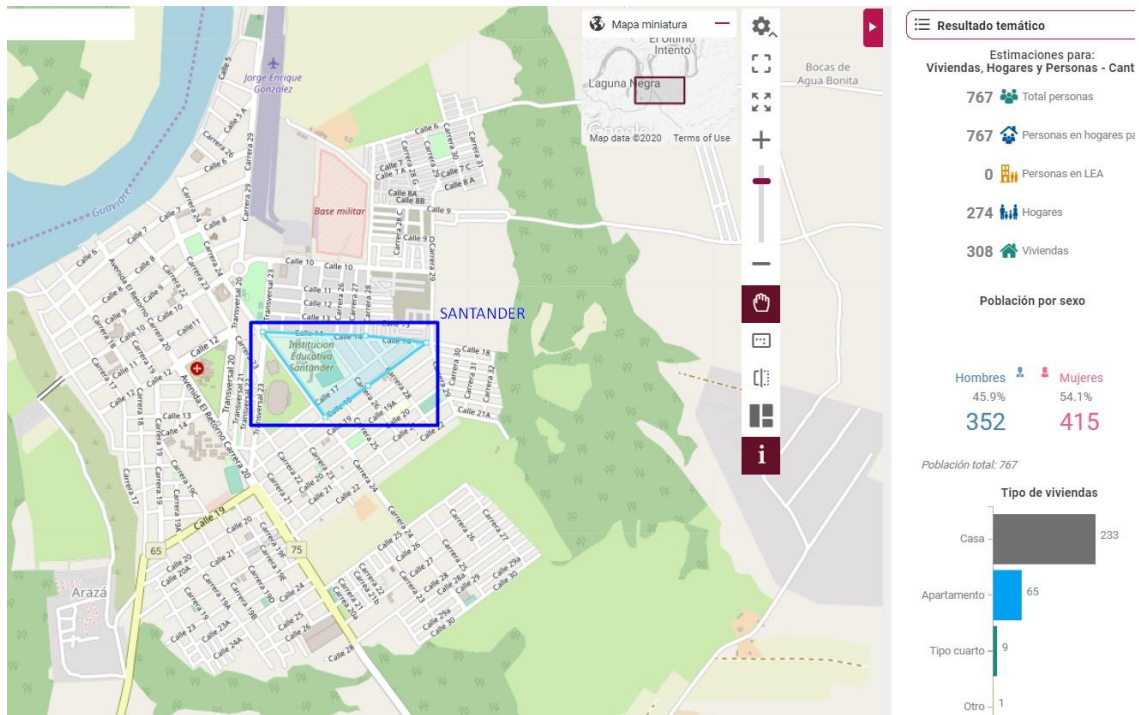
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

**Figura A-28:** Población del barrio Santa Rosita.



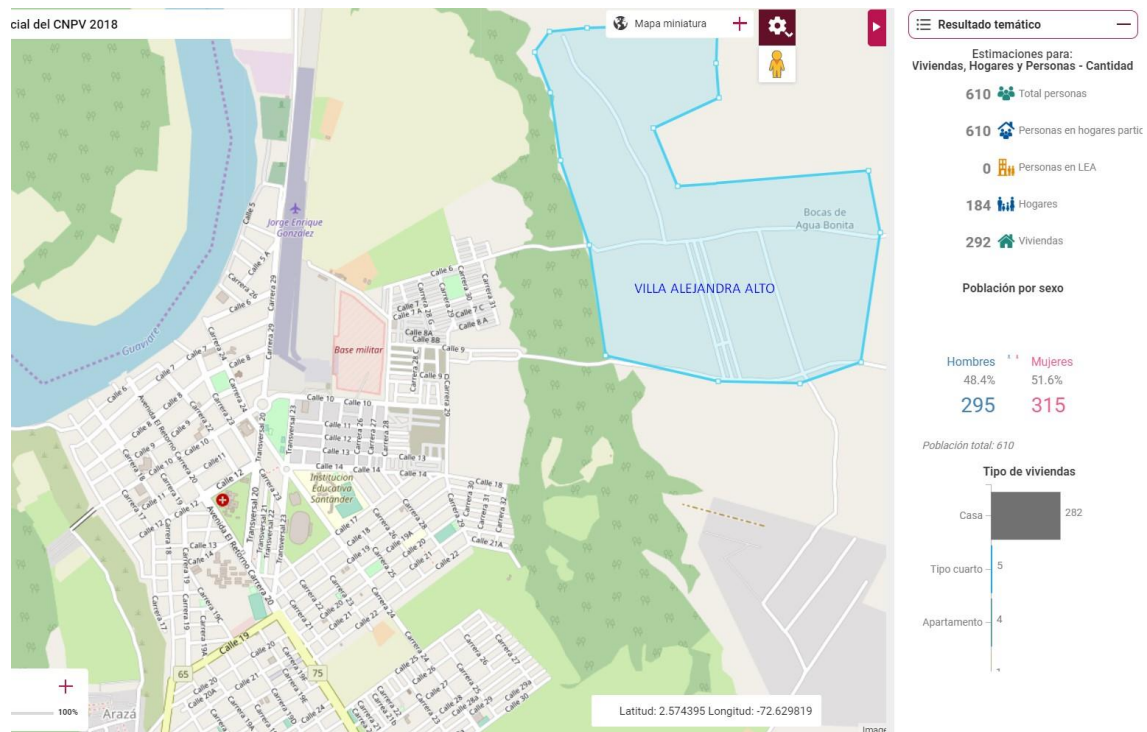
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-29: Población del barrio Santander.



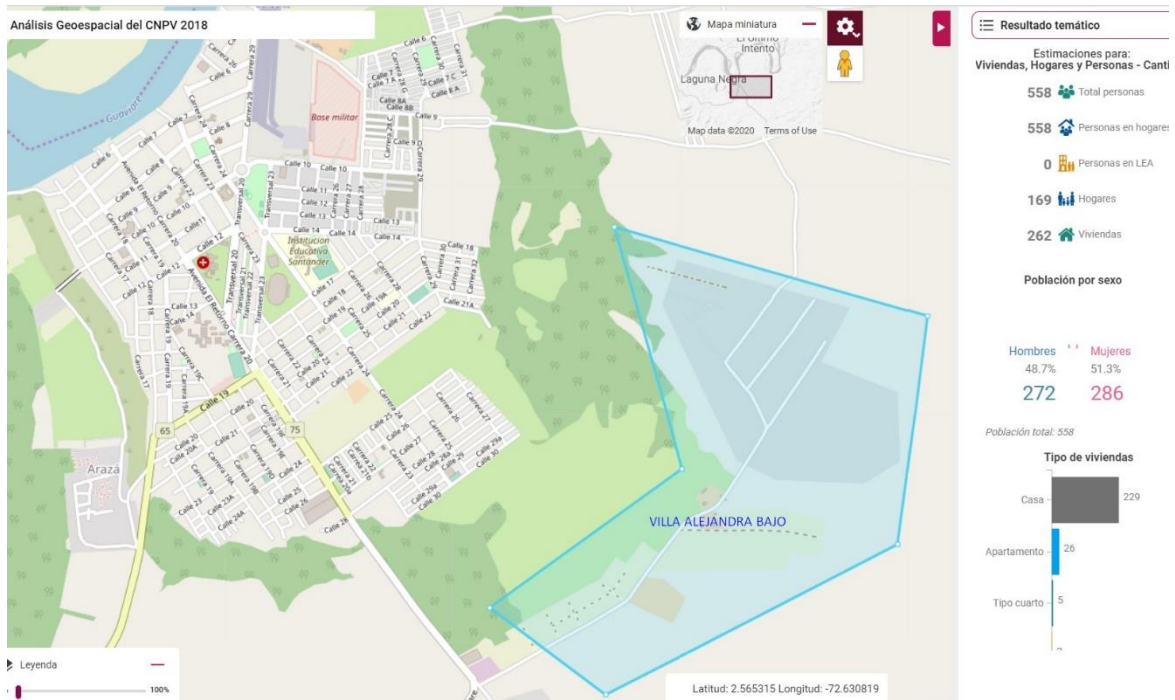
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-30: Población del sector Villa Alejandra Alto.



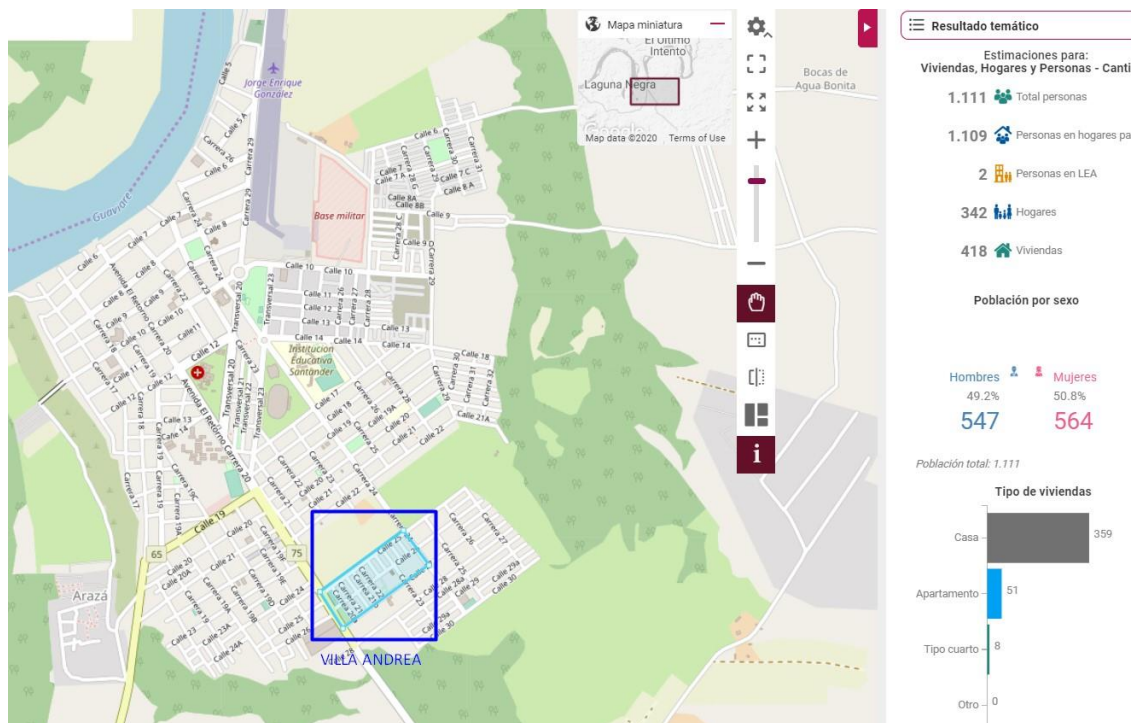
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-31: Población del sector Villa Alejandra bajo.



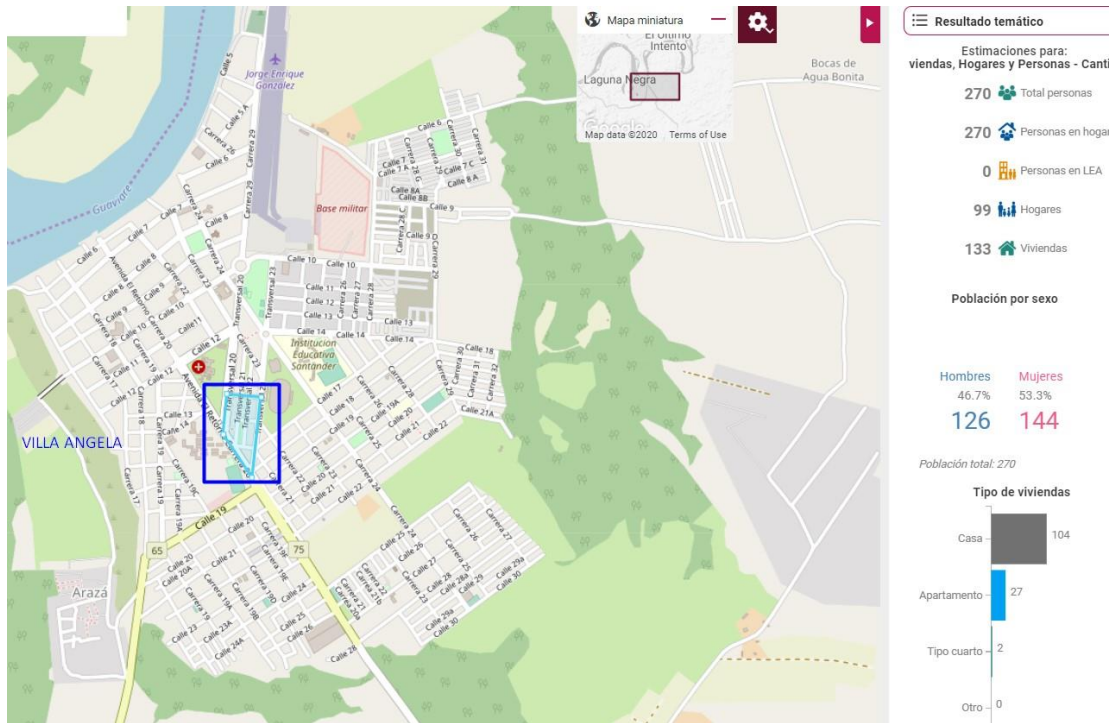
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-32: Población del barrio Villa Andrea.



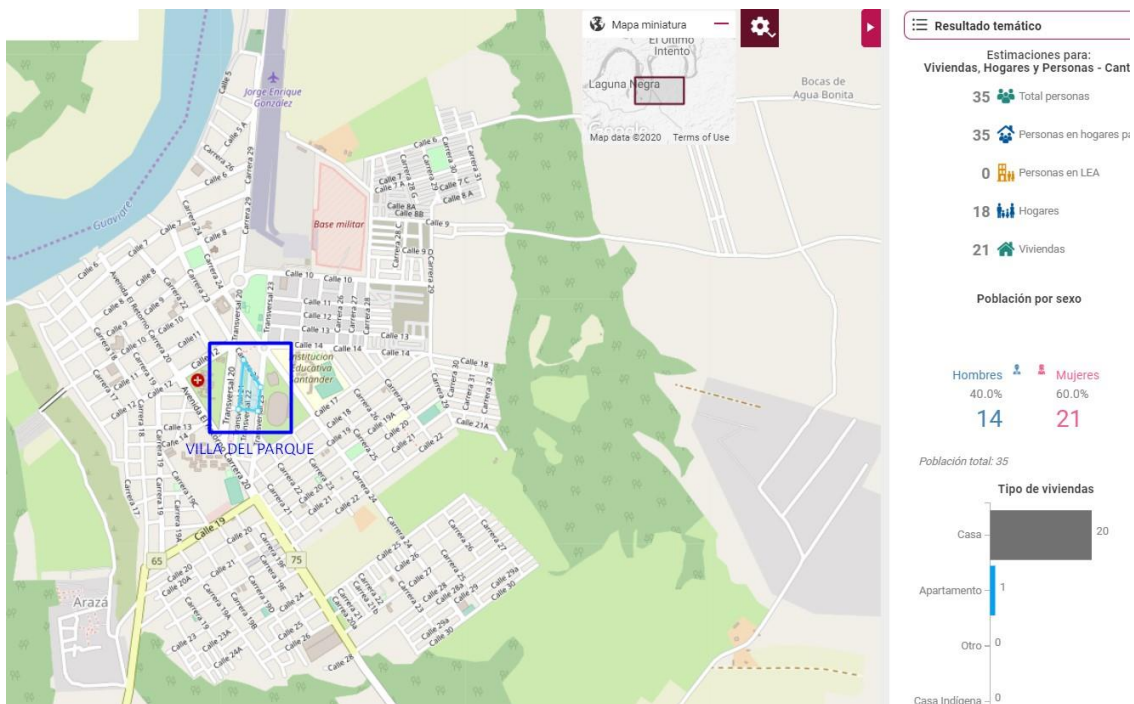
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

**Figura A-33:** Población del barrio Villa Angela.



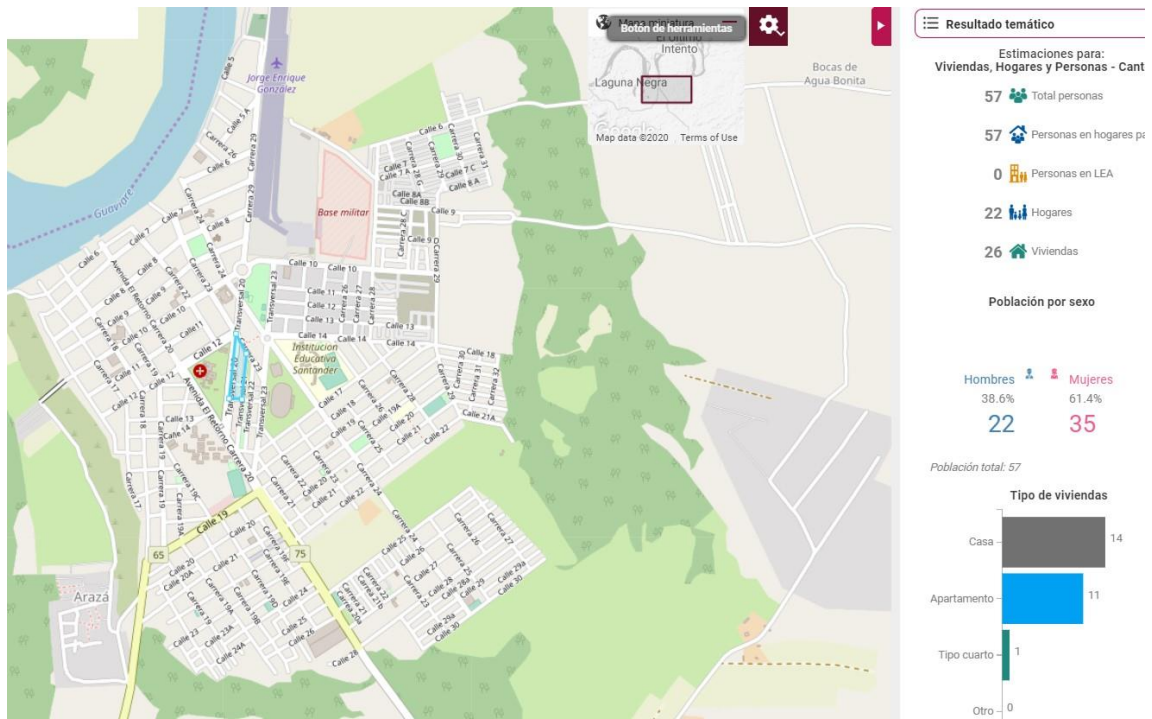
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

**Figura A-34:** Población del barrio Villa del parque.



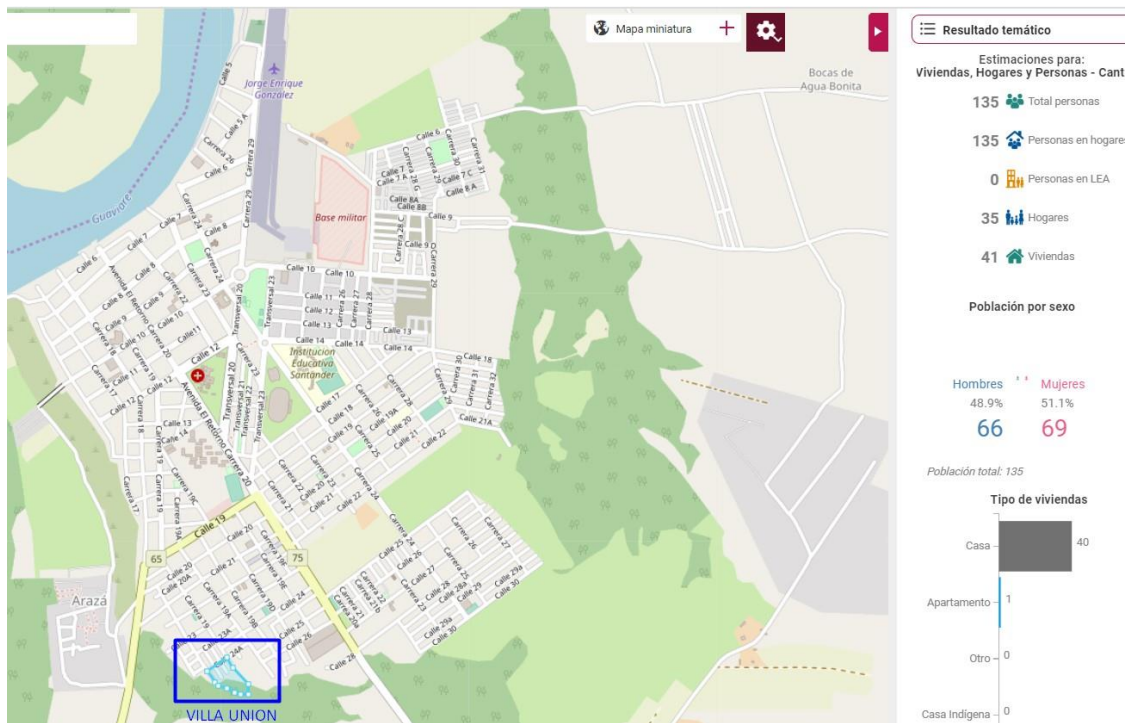
Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-35: Población del barrio Villa del Prado.



Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

Figura A-36: Población del barrio Villa Unión.



Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.



**Tabla A-1:** Cálculo de población por género y barrio.

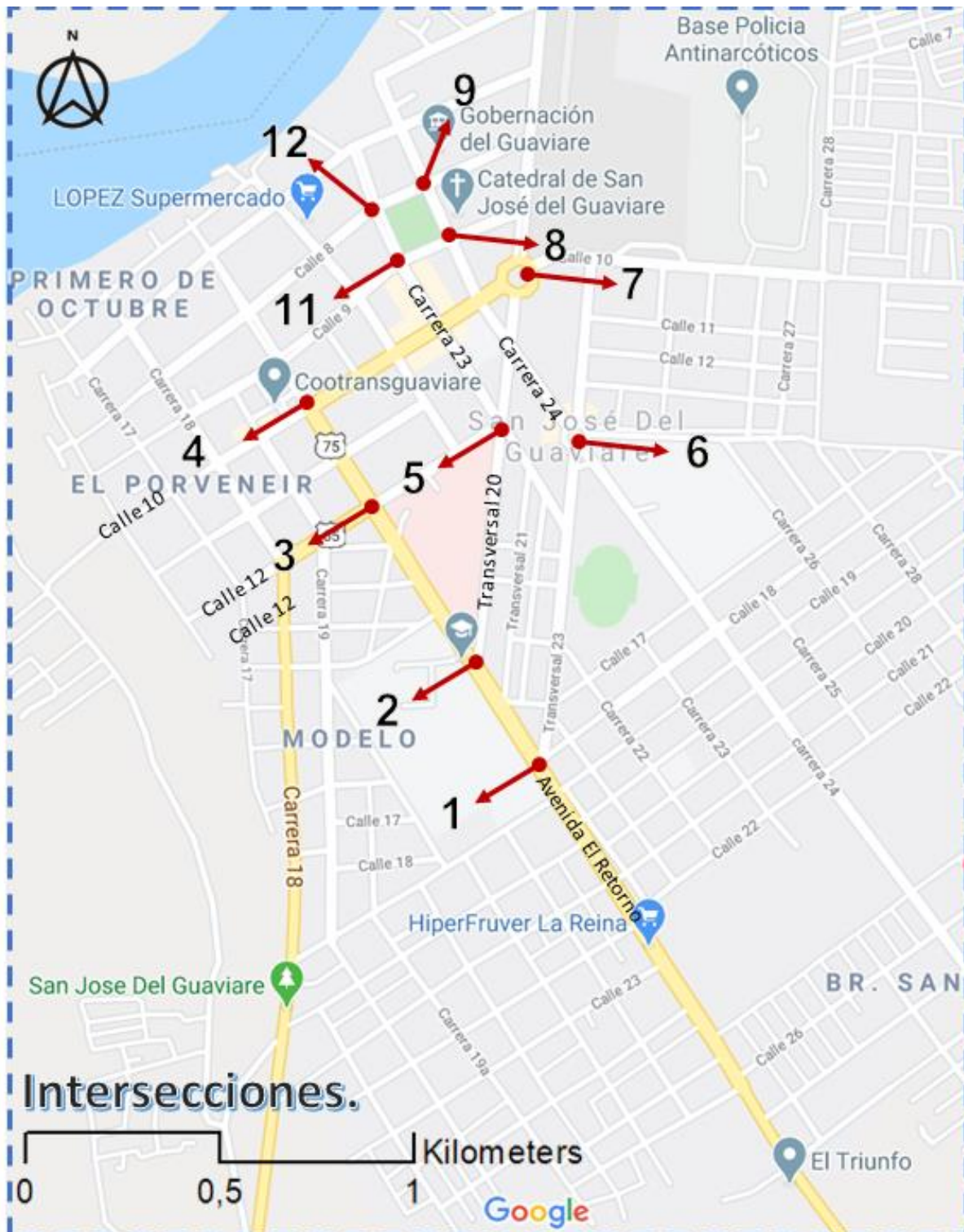
<b>NOMBRE</b>	<b>HOMBRES</b>	<b>MUJERES</b>
1 DE MAYO	311	280
1 DE OCTUBRE	407	436
20 DE JULIO	864	791
ARAZÁ	1085	1108
BELÉN DE LA PAZ	302	342
BELLO HORIZONTE	1054	1152
BICENTENARIO	93	94
BICENTENARIO 2	477	526
COOPSAGUA	290	338
EL CENTRO	456	179
EL DIVINO NIÑO	406	437
EL DORADO	633	643
EL MODELO	1253	1372
EL PORVENIR	1228	1328
EL PROGRESO	206	234
EL REMANSO	332	372
EL TRIUNFO	490	573
LA ESPERANZA	471	340
LA GRANJA	987	1054
LA PAZ	728	812
LOS COMUNEROS	229	283
POPULAR	210	226
PRADOS DE SAN SEBASTIÁN	461	512
PROVIDENCIA	482	514
SAN IGNACIO	174	219
SAN JORGE	1895	2066
SAN JOSÉ	151	128
SANTA ROSITA	340	347
SANTANDER	325	415
VILLA ALEJANDRA ALTO	335	328
VILLA ALEJANDRA BAJO	272	286
VILLA ANDREA	547	564
VILLA ANGELA	126	144
VILLA DEL PARQUE	14	21
VILLA DEL PRADO	22	35
VILLA UNIÓN	66	69

Fuente: Geoportal DANE, análisis geoespacial del censo nacional de población y vivienda 2018.

# **Anexo B.**

## **Registro Fotográfico de intersecciones principales.**

Figura B-1: Localización de intersecciones.



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

**Figura B-2:** Fotografía panorámica de la intersección 1.



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura B-3:** Fotografía panorámica de la intersección 2.



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura B-4:** Fotografía panorámica de la intersección 3.



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura B-5:** Fotografía panorámica de la intersección 4.



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura B-6:** Fotografía panorámica de la intersección 5.



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura B-7:** Fotografía panorámica de la intersección 6.



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura B-8:** Fotografía panorámica de la intersección 7.



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura B-9:** Fotografía panorámica de la intersección 8.



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura B-10:** Fotografía panorámica de la intersección 9.



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura B-11:** Fotografía panorámica de la intersección 10.



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura B-12:** Fotografía panorámica de la intersección 11.



*Fuente: Elaboración propia.*

# **Anexo C**

## **Velocidades operativas de los arcos viales.**

**Figura C-1:** Calle 6 entre carreras 16 y 19 vista municipal.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350 \text{ m}}{2 \text{ min}} * 0.06 = 10,5 \text{ km/h}$$

**Figura C-2:** Calle 6 entre carreras 19 y 22 vista municipal.

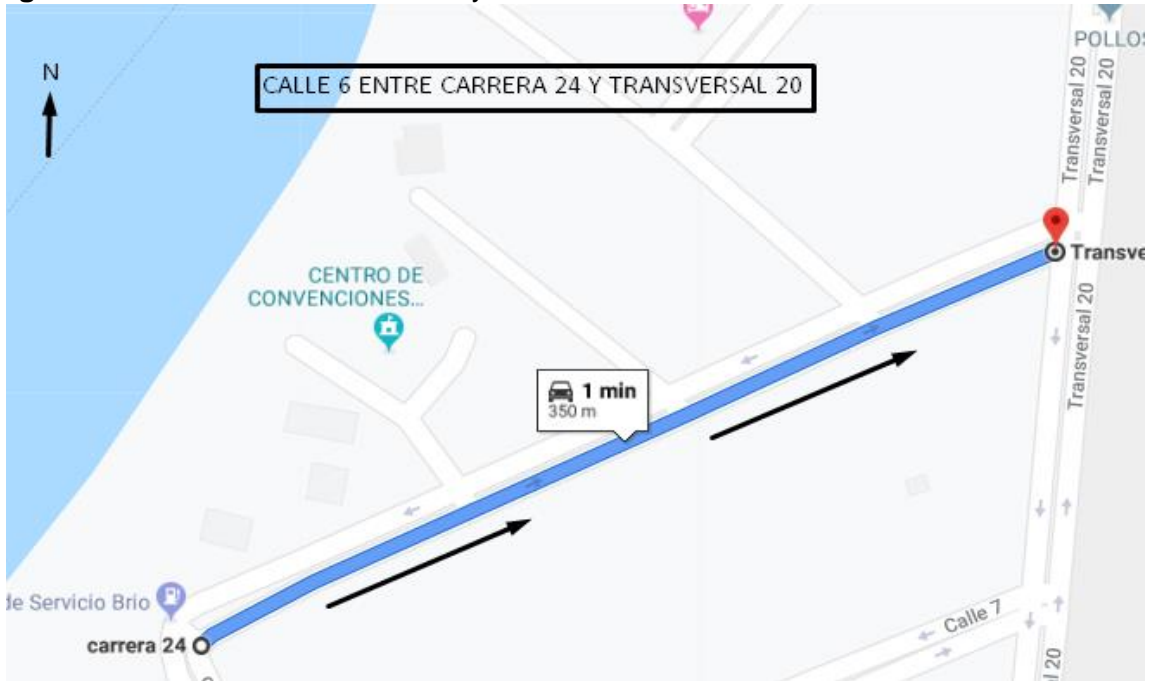


Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{220 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 13,2 \text{ km/h}$$



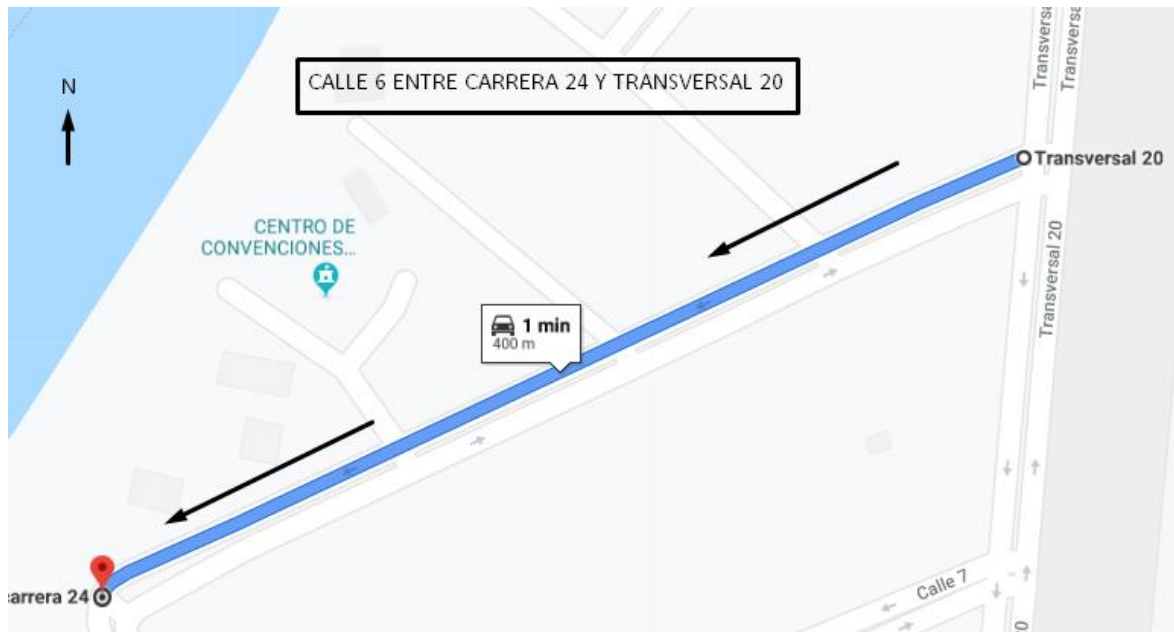
**Figura C-3:** Calle 6 entre carrera 24 y transversal 20.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350m}{1min} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

**Figura C-4:** Calle 6 entre transversal 20 y carrera 24.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400m}{1min} * 0.06 = 24 \text{ km/h}$$

**Figura C-5:** Calle 6 con carrera 31.



Fuente: Google Maps.

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1000}{3 \text{ min}} * 0.06 = 20 \text{ km/h}$$

Nota: El tramo de la calle 6 perteneciente a los barrios Belén de la paz y la paz fueron calculados con la anterior imagen debido a que existe un vacío de información en dicha zona.

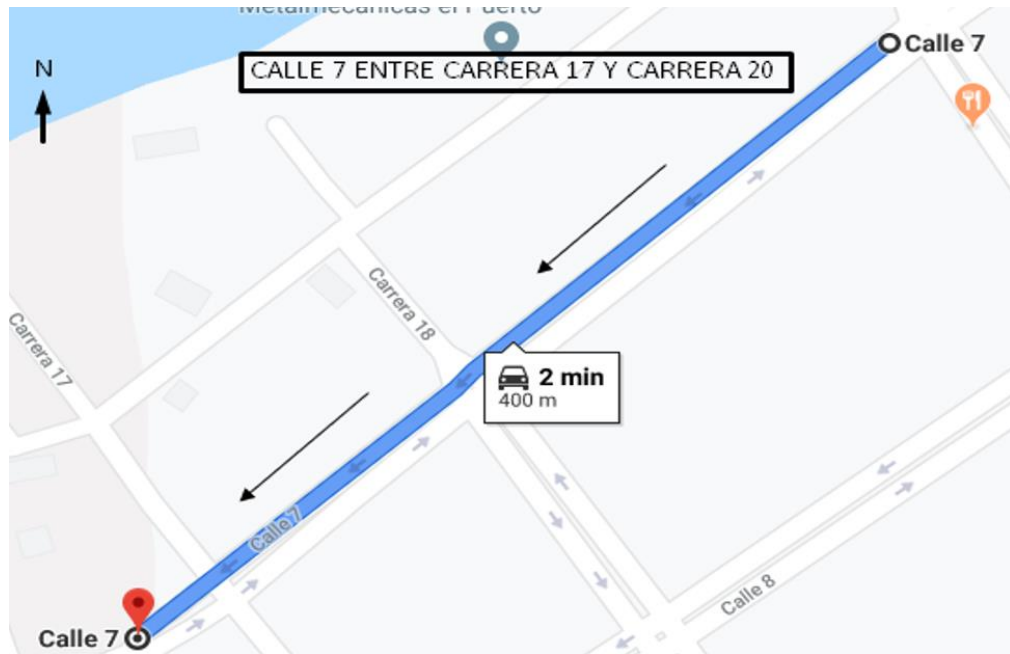
**Figura C-6:** Calle 7 entre carreras 28 y 29.



Fuente: Google Maps.

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{290}{1 \text{ min}} * 0.06 = 17.4 \text{ km/h}$$

**Figura C-7** Calle 7 entre la carrera 20 y carrera 17.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400 \text{ m}}{2 \text{ min}} * 0.06 = 12,0 \text{ km/h}$$

**Figura C-8** Calle 7 entre la carrera 17 y carrera 20.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400 \text{ m}}{2 \text{ min}} * 0.06 = 12,0 \text{ km/h}$$

**Figura C-9:** Calle 7 entre la carrera 20 y carrera 23.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400 \text{ m}}{2 \text{ min}} * 0.06 = 12,0 \text{ km/h}$$

**Figura C-10** Calle 7 entre la carrera 23 y carrera 20.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400 \text{ m}}{2 \text{ min}} * 0.06 = 12,0 \text{ km/h}$$

Figura C-11: Calle 7 entre la carrera 23 y transversal 20.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 24,0 \text{ km/h}$$

Figura C-12 Calle 7 entre transversal 20 y carrera 23.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 24,0 \text{ km/h}$$

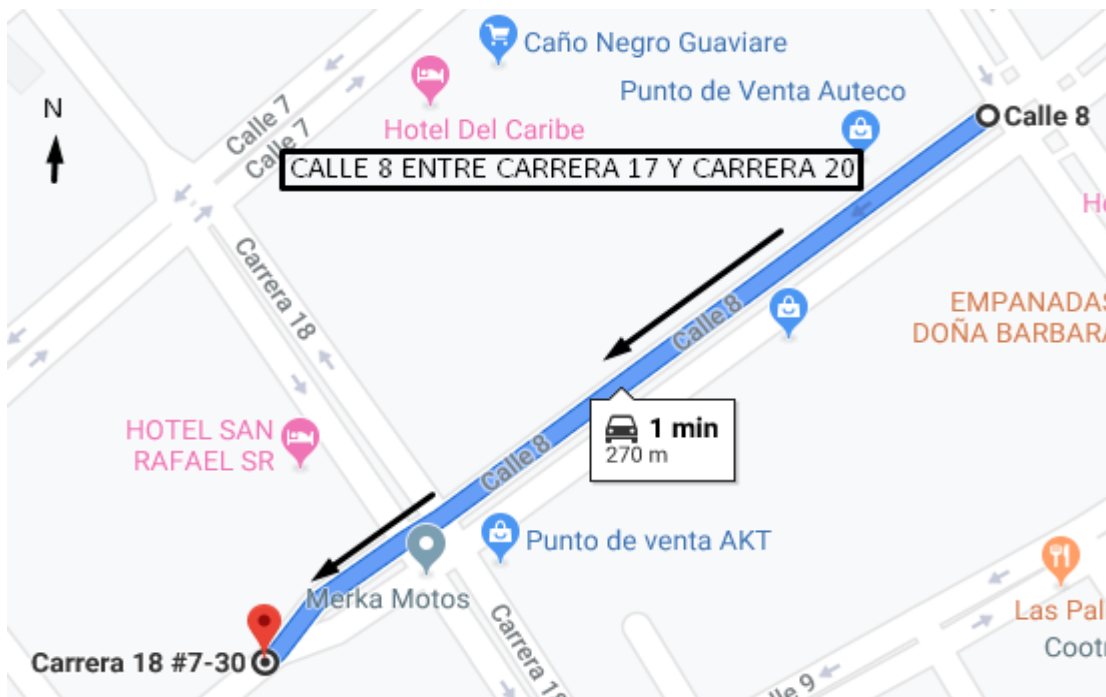
**Figura C-13** Calle 8 entre la carrera 17 y carrera 20.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{270 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 16,2 \text{ km/h}$$

**Figura C-14** Calle 8 entre la carrera 20 y carrera 17.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{270 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 16,2 \text{ km/h}$$

**Figura C-15** Calle 8 entre la carrera 20 y carrera 23.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

**Figura C-16** Calle 8 entre la transversal 20 y carrera 22.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{500 \text{ m}}{3 \text{ min}} * 0.06 = 10 \text{ km/h}$$

**Figura C-17** Calle 8 entre la carrera 22 y transversal 20.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350 \text{ m}}{2 \text{ min}} * 0.06 = 10,5 \text{ km/h}$$



**Figura C-18** Calle 9 entre carrera 16 y carrera 18.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{220 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 13,2 \text{ km/h}$$

**Figura C-19** Calle 9 entre la carrera 18 y carrera 22.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{450 \text{ m}}{2 \text{ min}} * 0.06 = 13,5 \text{ km/h}$$

Figura C-20: Calle 9 entre la carrera 22 y transversal 20.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400m}{1 \text{ min}} * 0.06 = 24 \text{ km/h}$$

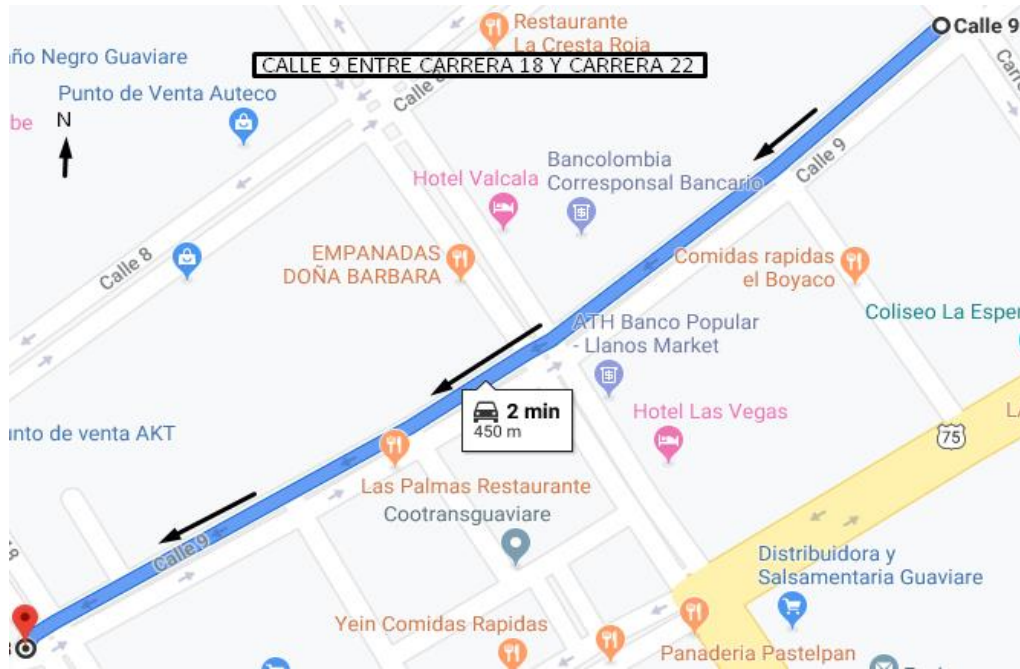
Figura C-21: Calle 9 entre transversal 20 y carrera 22.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400m}{1 \text{ min}} * 0.06 = 24 \text{ km/h}$$

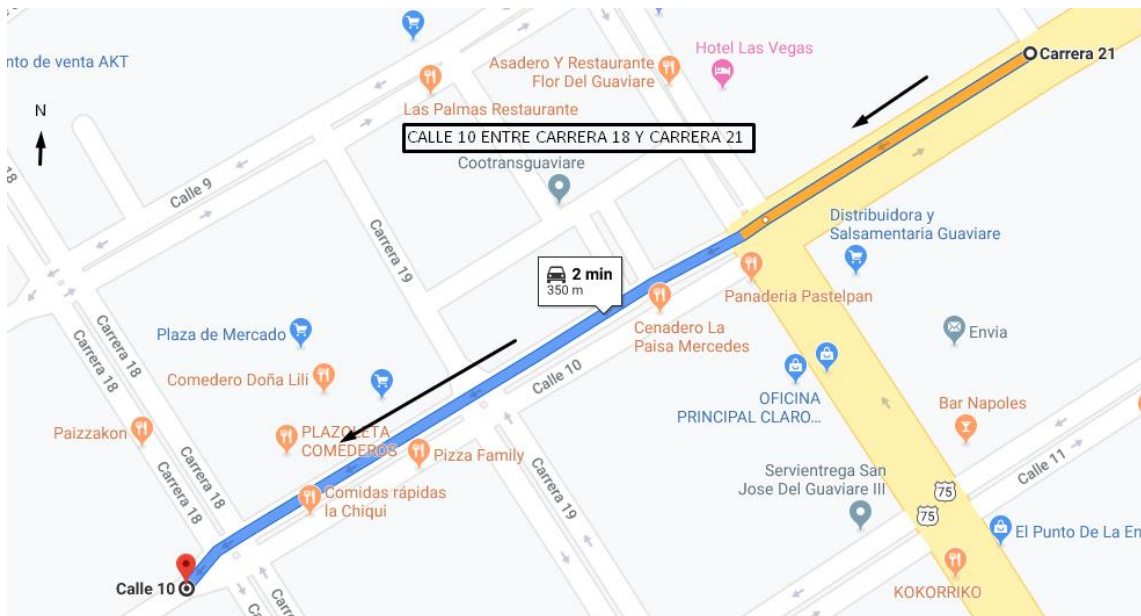
Figura C-22 Calle 9 entre la carrera 22 y carrera 18.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{450m}{2 \text{ min}} * 0.06 = 13,5 \text{ km/h}$$

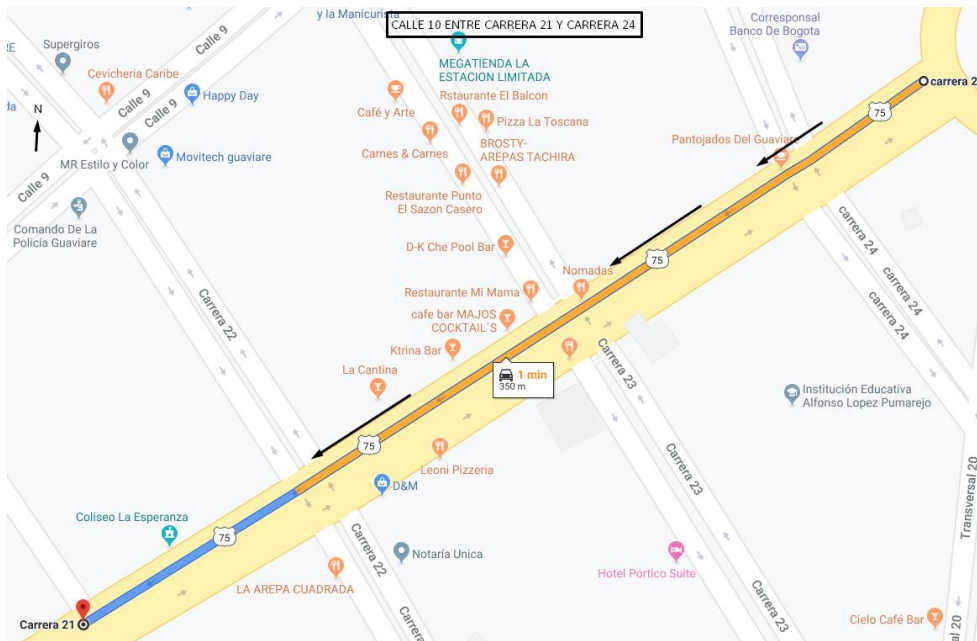
Figura C-23: Calle 10 entre la carrera 21 y carrera 18.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350m}{2 \text{ min}} * 0.06 = 10,5 \text{ km/h}$$

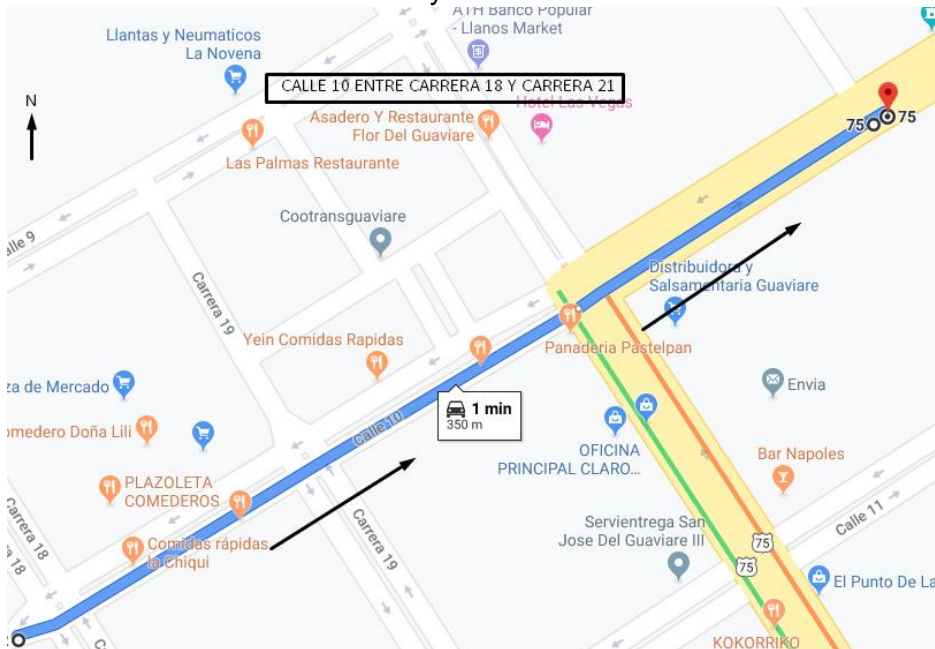
Figura C-24 Calle 10 entre la carrera 24 y carrera 21.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350m}{1 \text{ min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

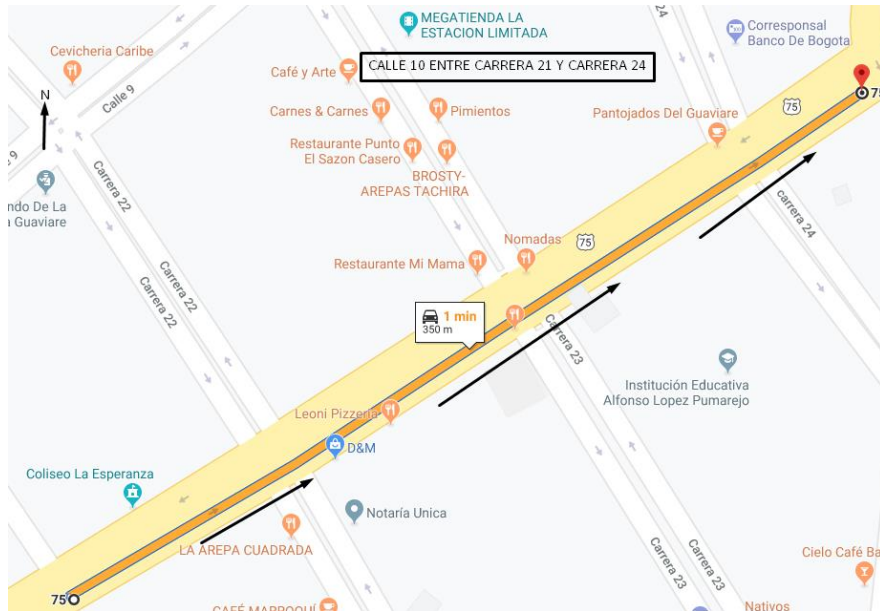
Figura C-25: Calle 10 entre la carrera 18 y carrera 21.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350}{1 \text{ min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

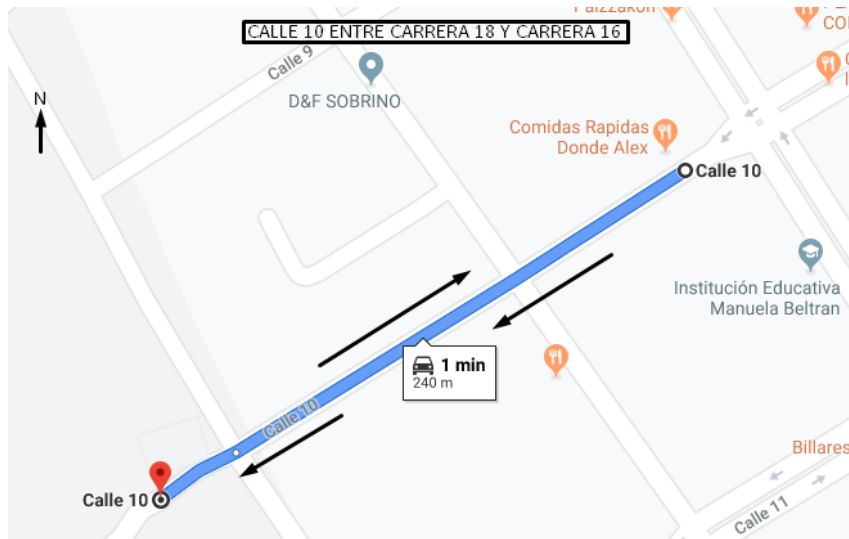
Figura C-26: Calle 10 entre la carrera 18 y carrera 21.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350}{1 \text{ min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

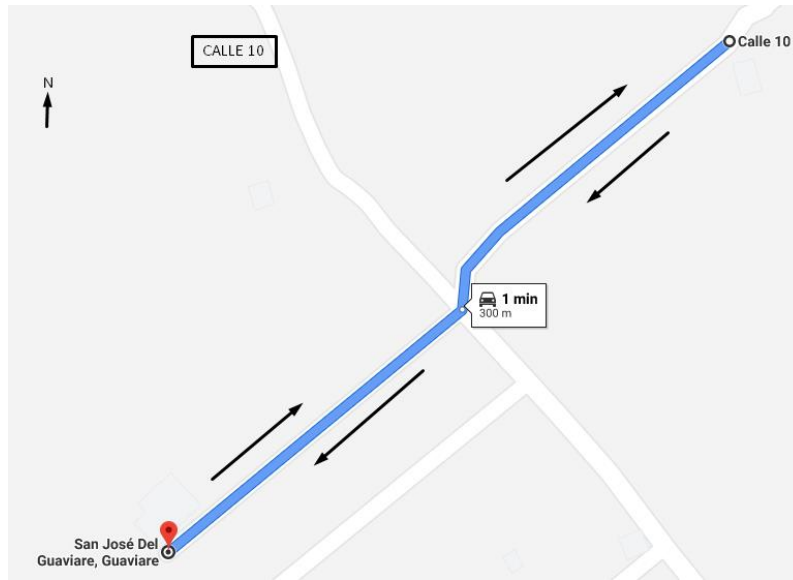
Figura C-27: Calle 10 entre la carrera 18 y carrera 16.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{240}{1 \text{ min}} * 0.06 = 14,4 \text{ km/h}$$

**Figura C-28:** Calle 10 barrio Arazá



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

**Figura C-29:** Calle 11 entre carrera 19 y carrera 17.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{290 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 17.4 \text{ km/h}$$

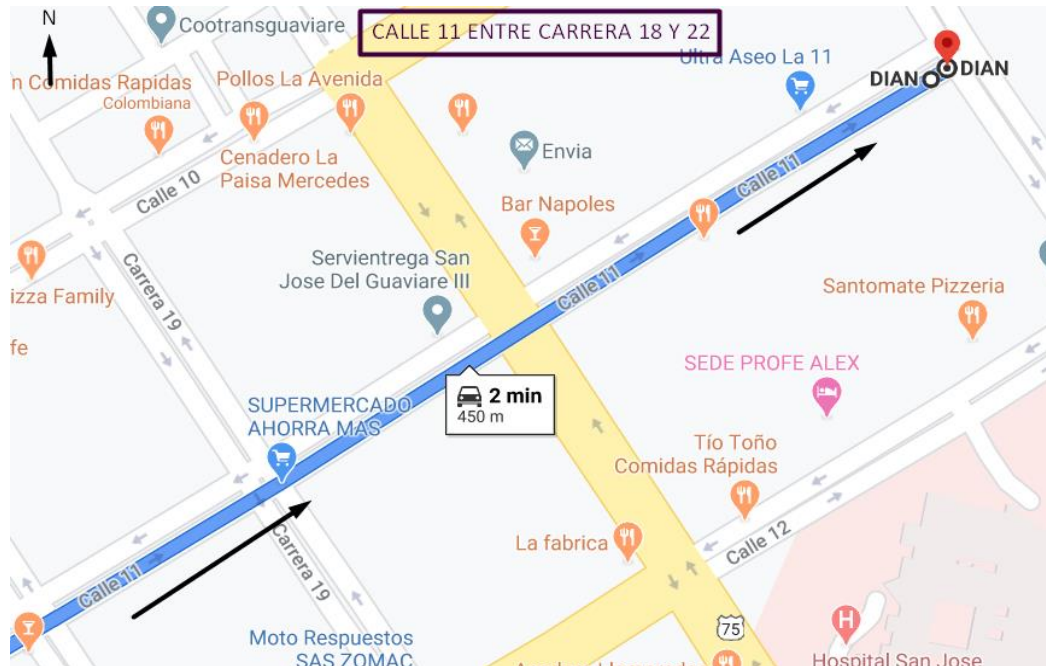
Figura C-30: Calle 11 entre carrera 17 y carrera 19.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{290 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 17.4 \text{ km/h}$$

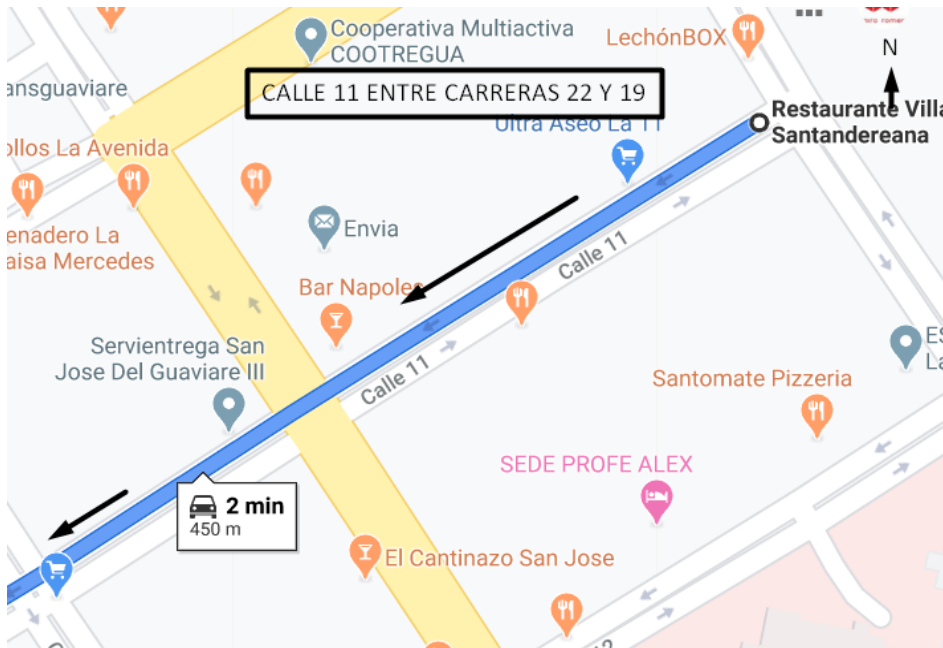
Figura C-31: Calle 11 entre carrera 18 y carrera 22.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{450 \text{ m}}{2 \text{ min}} * 0.06 = 13.5 \text{ km/h}$$

Figura C-32: Calle 11 entre carrera 22 y carrera 18.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{450 \text{ m}}{2 \text{ min}} * 0.06 = 13.5 \text{ km/h}$$

Figura C-33: Calle 12 entre transversal 20 y carrera 20.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$



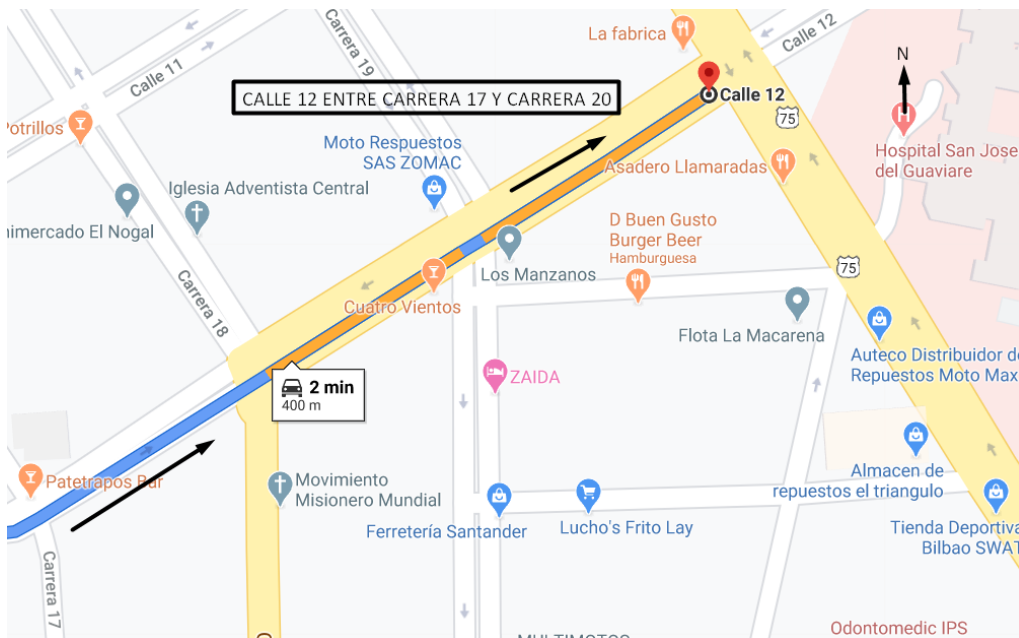
Figura C-34: Calle 12 entre carrera 20 y transversal 20.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

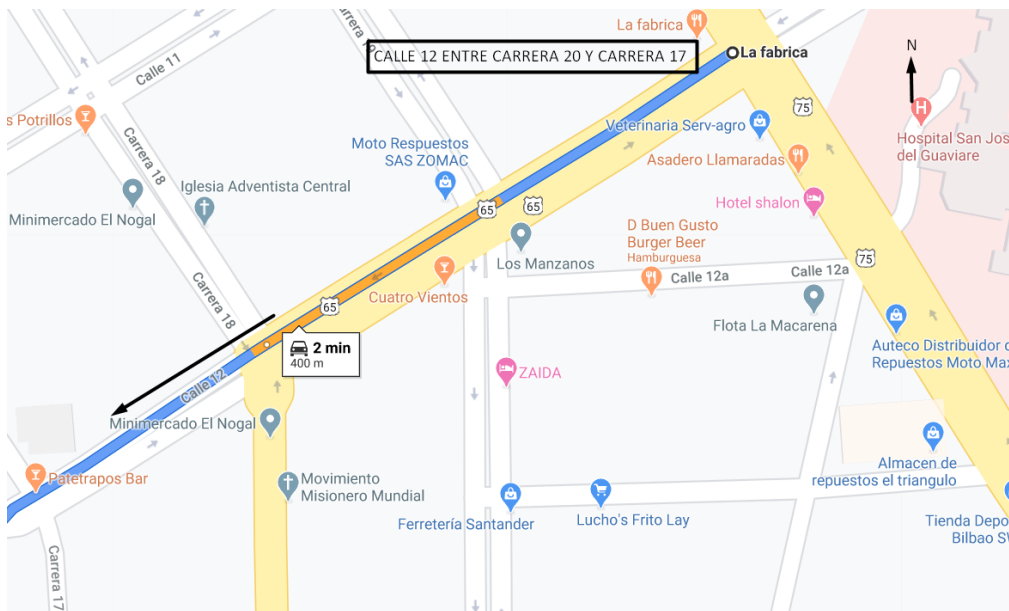
Figura C-35: Calle 12 entre carrera 17 y carrera 20.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400 \text{ m}}{2 \text{ min}} * 0.06 = 12 \text{ km/h}$$

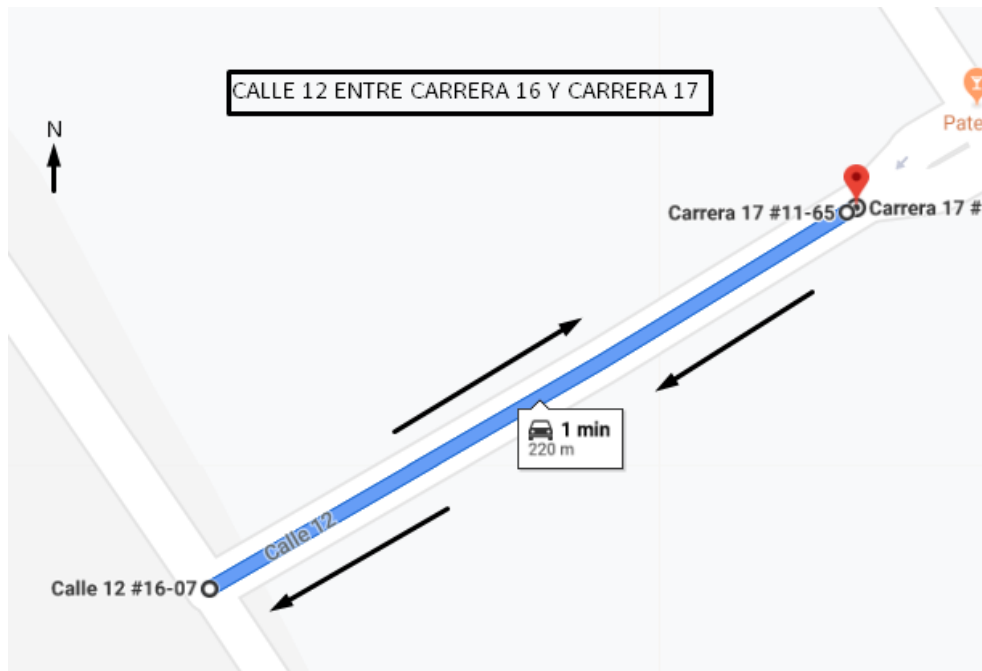
Figura C-36: Calle 12 entre carrera 20 y carrera 17.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400 \text{ m}}{2 \text{ min}} * 0.06 = 12 \text{ km/h}$$

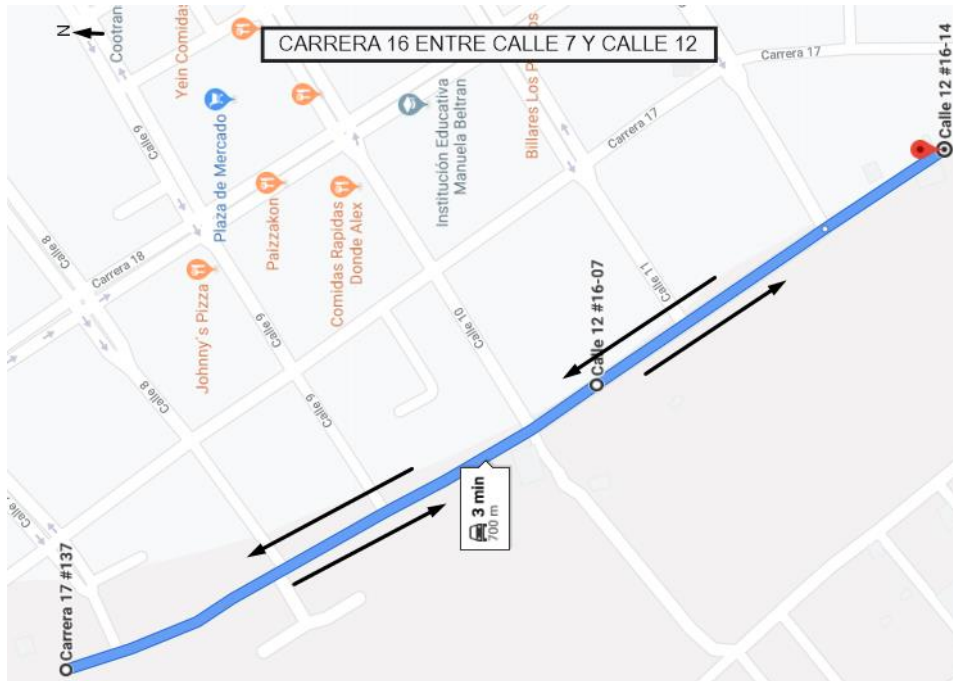
Figura C-37: Calle 12 entre carrera 16 y carrera 17.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{220 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 13,2 \text{ km/h}$$

**Figura C-38:** Carrera 16 entre calle 7 y calle 12.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{700 \text{ m}}{3 \text{ min}} * 0.06 = 13,9 \text{ km/h}$$

**Figura C-39:** Carrera 17 entre calle 6 y calle 8.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

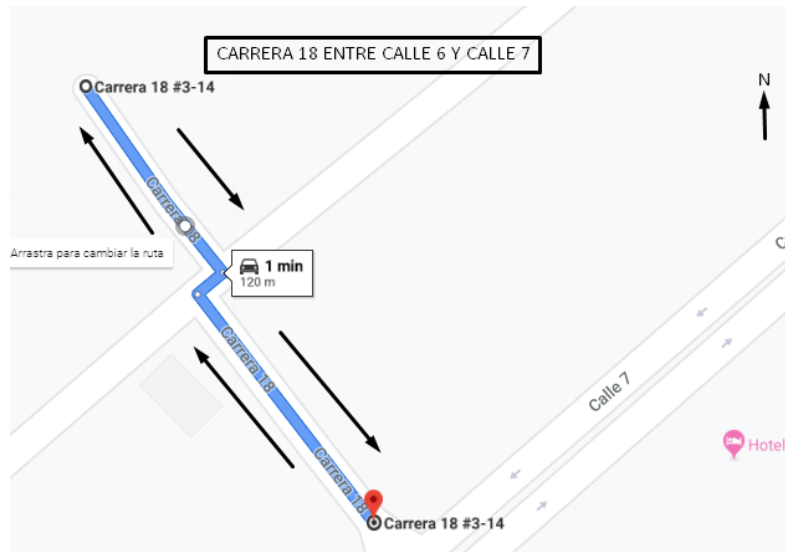
**Figura C-40** Carrera 17 entre calle 8 y calle 12



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{450 \text{ m}}{2 \text{ min}} * 0.06 = 13.5 \text{ km/h}$$

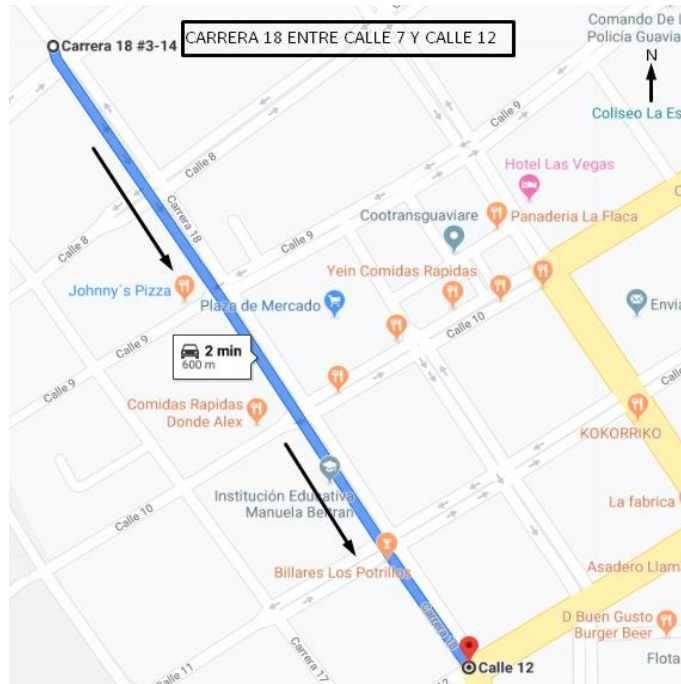
**Figura C-41:** Carrera 18 entre calle 6 y calle 7



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{120 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 7,2 \text{ km/h}$$

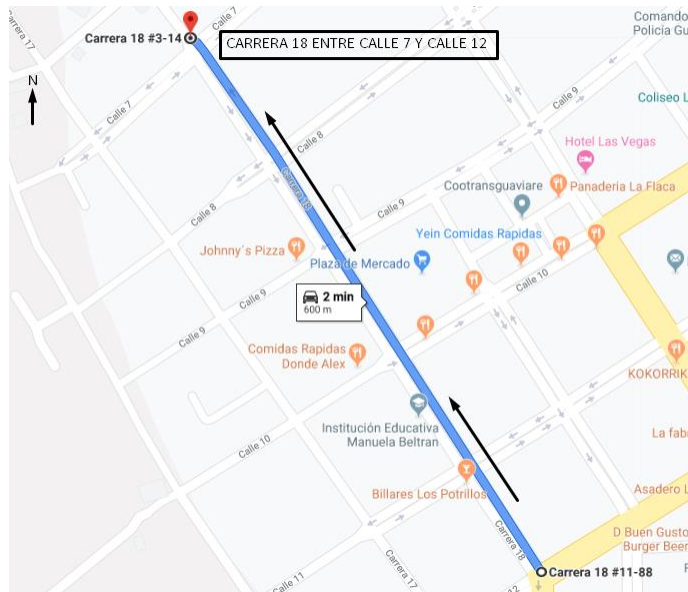
**Figura C-42:** Carrera 18 entre calle 7 y calle 12



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{600 \text{ m}}{2 \text{ min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

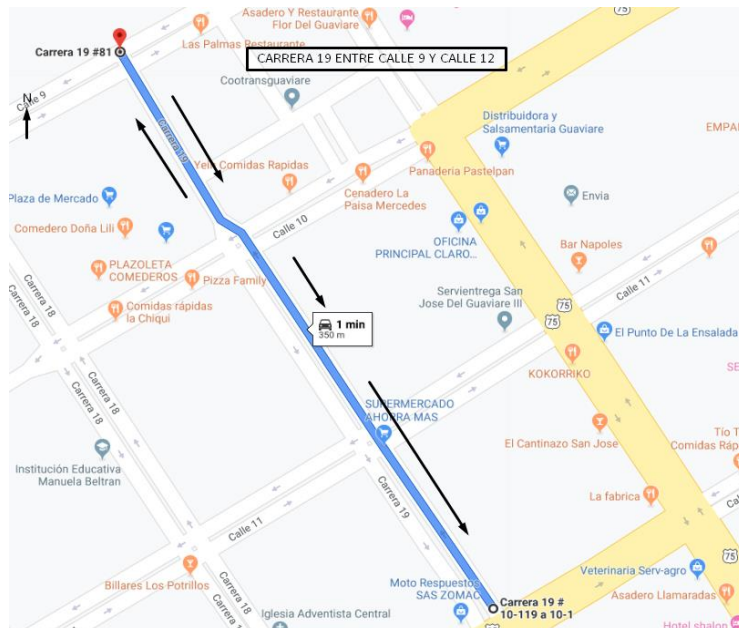
**Figura C-43:** Carrera 18 entre calle 12 y calle 7



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{600 \text{ m}}{2 \text{ min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

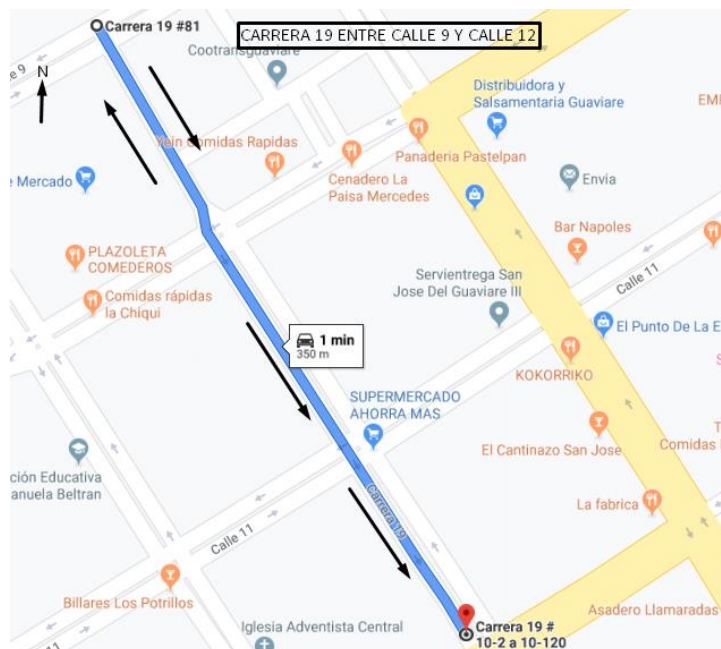
Figura C-44: Carrera 19 entre calle 12 y calle 9



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

Figura C-45: Carrera 19 entre calle 9 y calle 12



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350 \text{ m}}{1 \text{ min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

Figura C-46: Carrera 20 entre calle 28 y calle 7



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1300m}{3min} * 0.06 = 26 \text{ km/h}$$

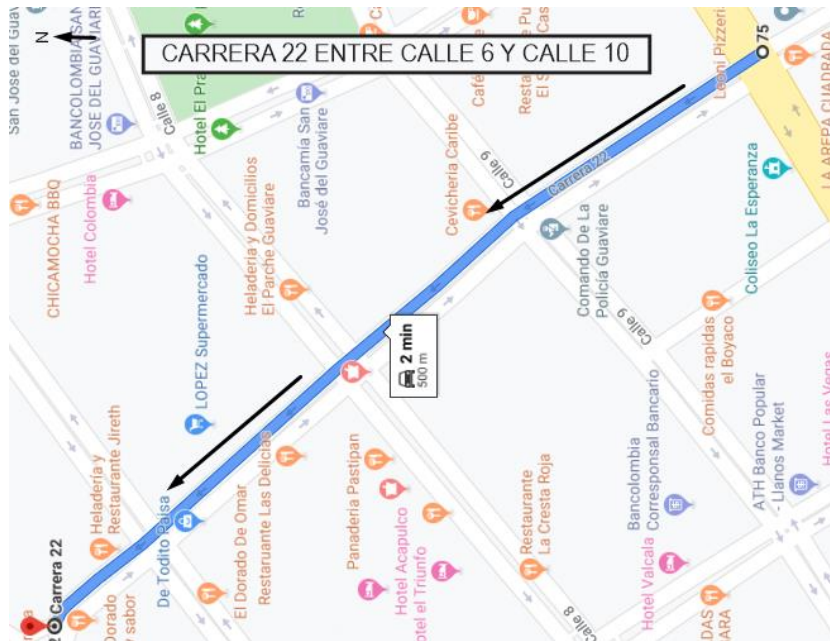
Figura C-47: Carrera 20 entre calle 7 y calle 28.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1300m}{3min} * 0.06 = 26 \text{ km/h}$$

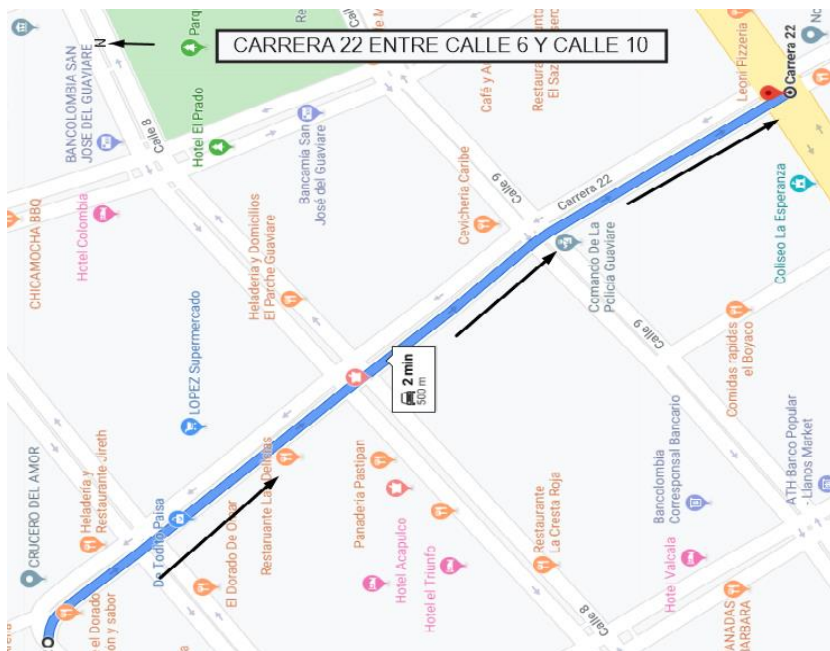
Figura C-48: Carrera 22 entre calle 10 y calle 6



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{500m}{2min} * 0.06 = 15 \text{ km/h}$$

Figura C-49: Carrera 22 entre calle 6 y calle 10

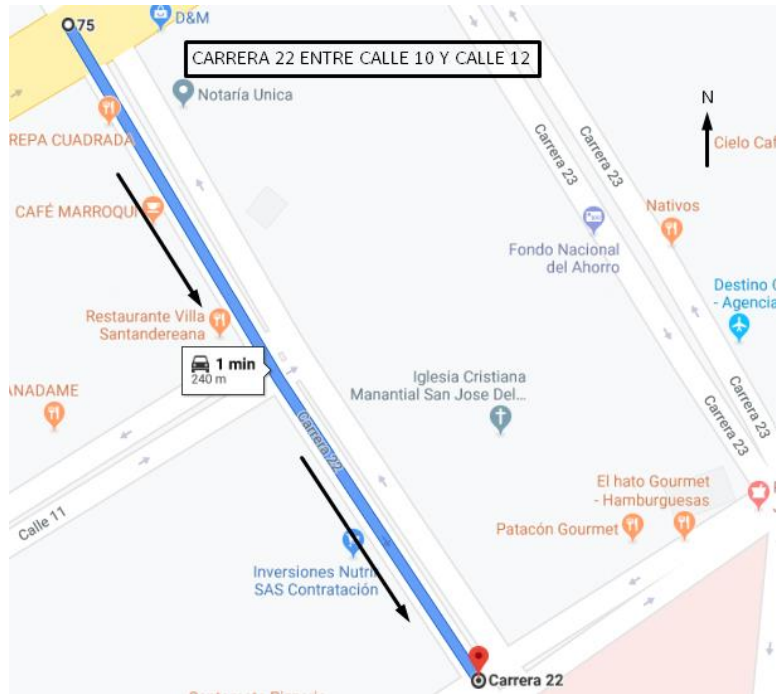


Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{500m}{2min} * 0.06 = 15 \text{ km/h}$$



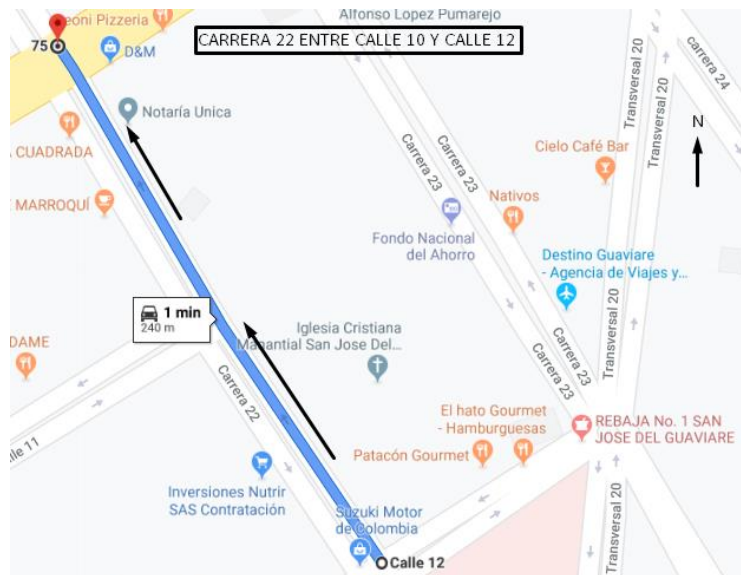
**Figura C-50:** Carrera 22 entre calle 10 y calle 12



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{240m}{1min} * 0.06 = 14.4 \text{ km/h}$$

**Figura C-51:** Carrera 22 entre calle 12 y calle 10



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{240m}{1min} * 0.06 = 14.4 \text{ km/h}$$

Figura C-52: Carrera 23 entre calle 12 y calle 7



, Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{650m}{2min} * 0.06 = 19.5 \text{ km/h}$$

Figura C-53: Carrera 23 entre calle 7 y calle 12



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{650m}{2min} * 0.06 = 19.5 \text{ km/h}$$

Figura C-54: Carrera 24 entre calle 6 y calle 10.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{550m}{2min} * 0.06 = 16.5 \text{ km/h}$$

Figura C-55: Carrera 24 entre calle 10 y calle 6



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{550m}{2min} * 0.06 = 16.5 \text{ km/h}$$

Figura C-56: Transversal 20 entre calle 10 y calle 3



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1100m}{2min} * 0.06 = 33 \text{ km/h}$$

Figura C-57: Transversal 20 entre calle 3 y calle 10.



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1100m}{3min} * 0.06 = 21.9 \text{ km/h}$$

Figura C-58: Transversal 20 entre calle 10 y calle 14



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{750m}{2min} * 0.06 = 22.5 \text{ km/h}$$

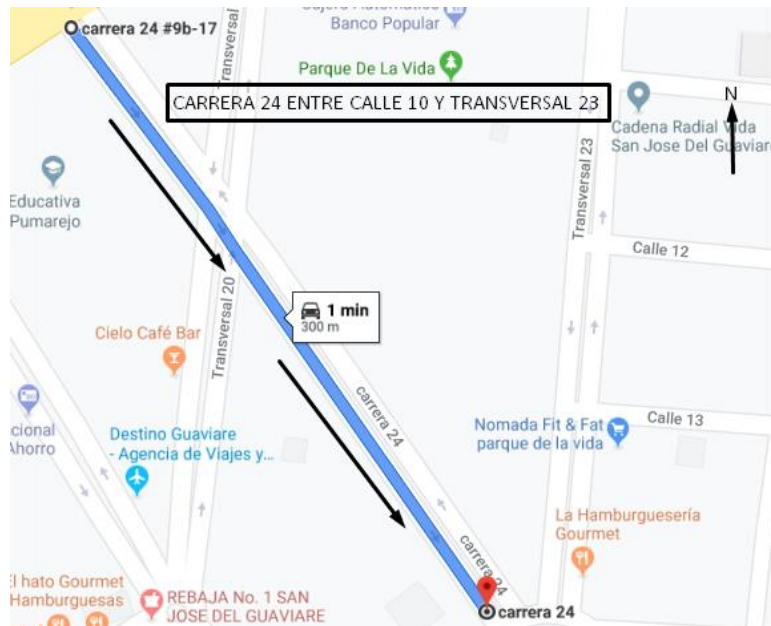
Figura C-59: Transversal 20 entre calle 14 y calle 10



, Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{750m}{2min} * 0.06 = 22.5 \text{ km/h}$$

**Figura C-60:** Carrera 24 entre calle 10 y transversal 23



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300m}{1min} * 0.06 = 22.5 \text{ km/h}$$

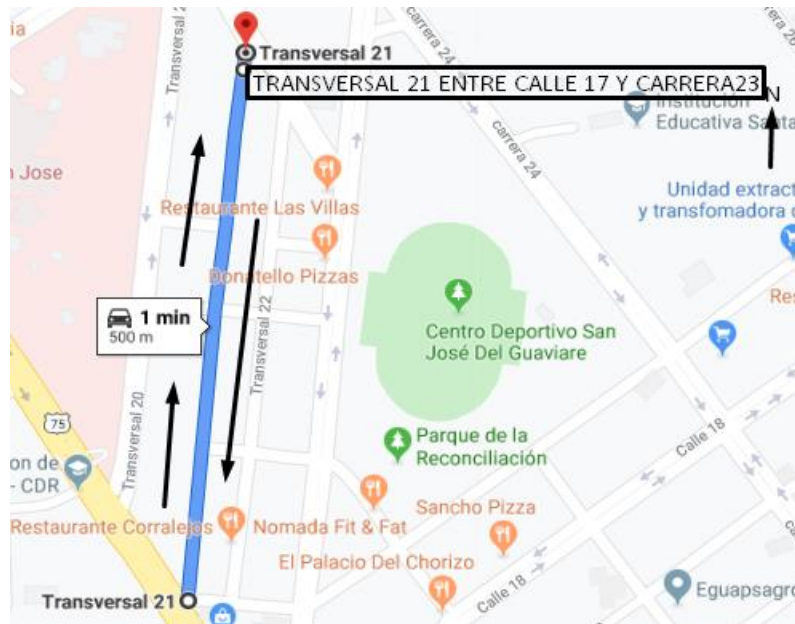
**Figura C-61:** Carrera 24 entre transversal 23 y calle 10



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300m}{1min} * 0.06 = 22.5 \text{ km/h}$$

**Figura C-62:** Transversal 21 entre calle 17 y carrera 23



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{500m}{1min} * 0.06 = 30 \text{ km/h}$$

**Figura C-63:** Transversal 22 entre carrera 23 y calle 17



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{450m}{1min} * 0.06 = 30 \text{ km/h}$$

Figura C-64: Transversal 23 entre carrera 24 y calle 18



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{650m}{1min} * 0.06 = 39 \text{ km/h}$$

Figura C-65: Transversal 23 entre calle 18 y carrera 24



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{650m}{1min} * 0.06 = 39 \text{ km/h}$$



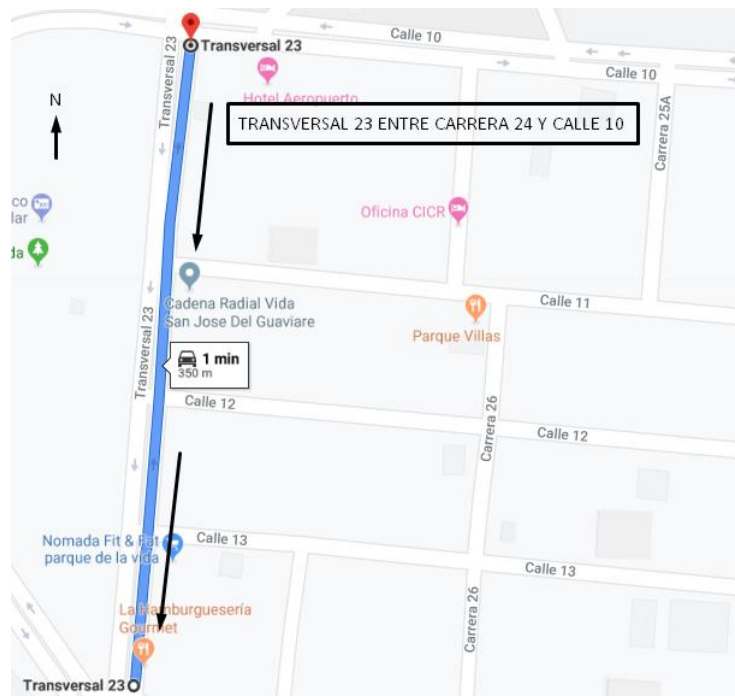
Figura C-66: Calle 12B entre Transversal 20 y Transversal 23



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{150m}{1min} * 0.06 = 9 \text{ km/h}$$

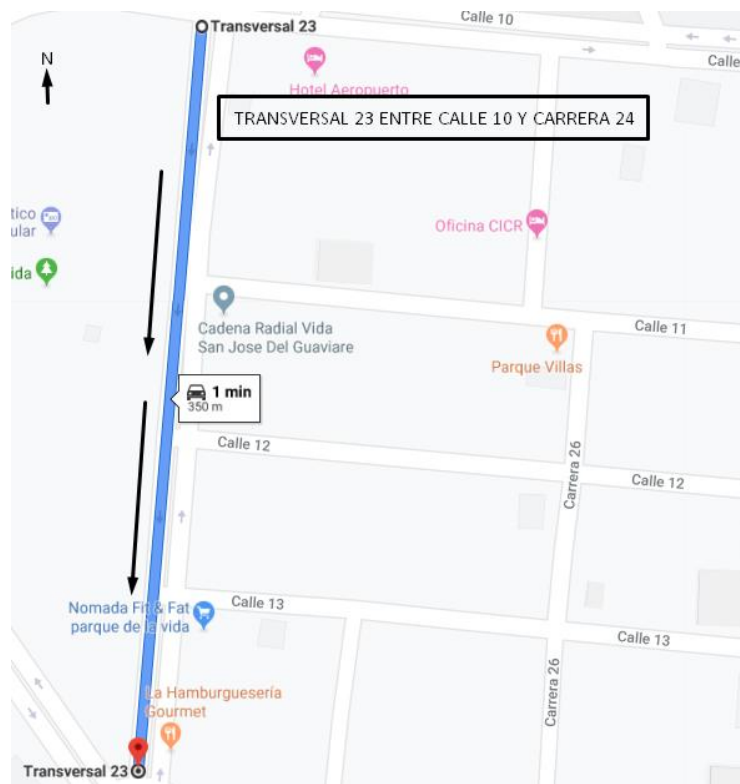
Figura C-67: Transversal 23 entre carrera 24 y calle 10



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350m}{1min} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

Figura C-68: Transversal 23 entre calle 10 y carrera 24



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350\text{m}}{1\text{min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

Figura C-69: Calle 10 entre transversal 20 y carrera 28



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{600}{1\text{min}} * 0.06 = 36 \text{ km/h}$$

**Figura C-70:** Calle 10 entre carrera 28 y transversal 20



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{600}{1 \text{ min}} * 0.06 = 36 \text{ km/h}$$

**Figura C-71:** Calle 10 entre carrera 29 y carrera 28



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300}{1 \text{ min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

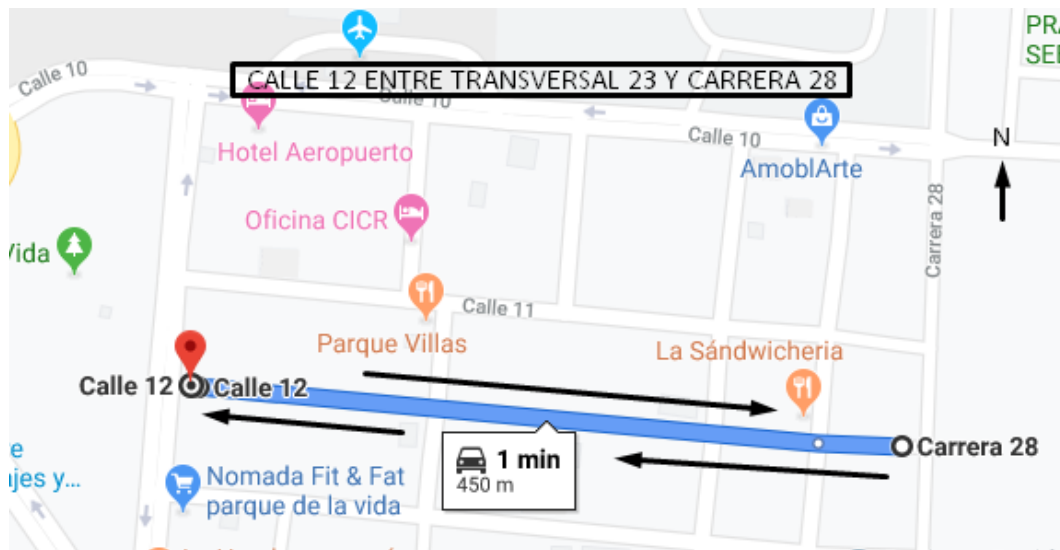
**Figura C-72:** Calle 11 entre carrera 28 y transversal 23



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{450}{1\text{min}} * 0.06 = 27 \text{ km/h}$$

Figura C-73: Calle 12 entre carrera 28 y transversal



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{450}{1\text{min}} * 0.06 = 27 \text{ km/h}$$

Figura C-74: Calle 13 entre transversal 23 y carrera 28



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{500}{2\text{min}} * 0.06 = 15 \text{ km/h}$$

Figura C-75: Calle 8 entre carrera 27 y transversal 23



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400}{1\text{min}} * 0.06 = 24 \text{ km/h}$$

Figura C-76: Calle 8 entre carrera 28 y transversal 23



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{550}{1\text{min}} * 0.06 = 33 \text{ km/h}$$

Figura C-77: Calle 18 carrera 28 y carrera 32



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{600}{2\text{min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

Figura C-78: Carrera 26 entre calle 11 y calle 14



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{600}{2\text{min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

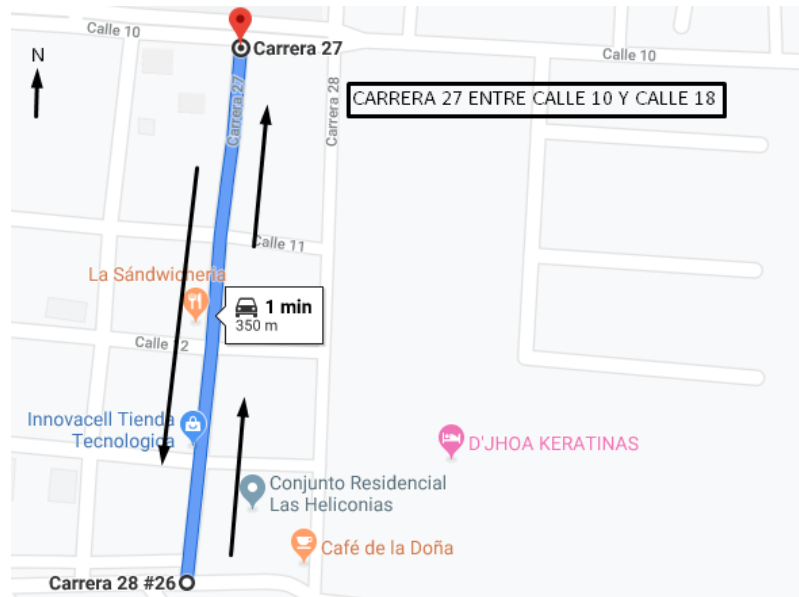
Figura C-79: Carrera 26 entre calle 14 y calle 10



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350}{1\text{min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

Figura C-80: Carrera 27 entre calle 14 y calle 10



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350}{1\text{min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

Figura C-81: Carrera 28 entre calle 10 y calle 17



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{700}{2\text{min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

Figura C-82: Carrera 28 entre calle 10 y calle 6





Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{600}{2\text{min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

Figura C-83: Carrera 29 entre calle 19 y calle 22



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350}{1\text{min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

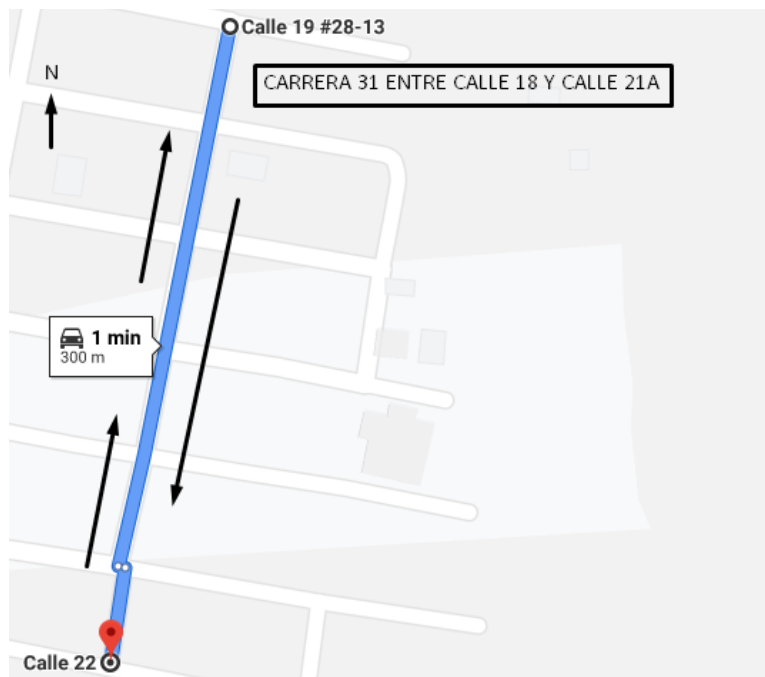
Figura C-84: Carrera 30 entre calle 14 y calle 19B



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350}{1\text{min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

Figura C-85: Carrera 31 entre calle 14 y calle 21A



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300}{1\text{min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

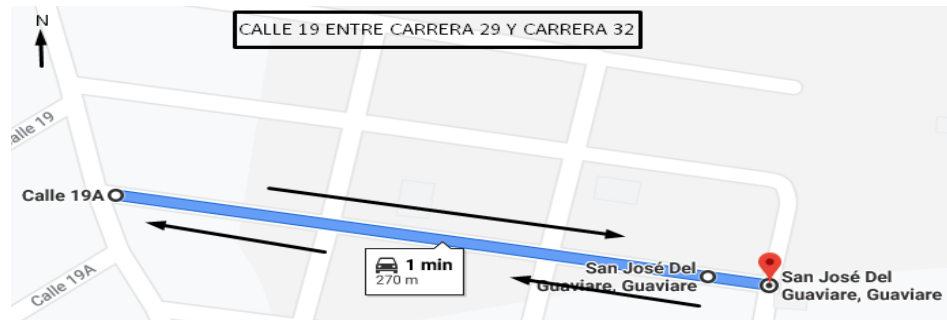
Figura C-86: Calle 19 entre Carrera 29 y Carrera 32



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{290}{1\text{min}} * 0.06 = 17.4 \text{ km/h}$$

Figura C-87: Calle 19A entre Carrera 29 y Carrera 32



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{270}{1\text{min}} * 0.06 = 17.4 \text{ km/h}$$

Figura C-88: Calle 19B entre Carrera 29 y Carrera 32



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{270}{1\text{min}} * 0.06 = 16.2 \text{ km/h}$$

Figura C-89: Calle 20 entre carrera 29 y carrera 32



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{270}{1 \text{ min}} * 0.06 = 16.2 \text{ km/h}$$

Figura C-90: Calle 21 entre carrera 29 y carrera 32



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{250}{1 \text{ min}} * 0.06 = 15 \text{ km/h}$$

Figura C-91: Calle 21A entre carrera 29 y carrera 32



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{200}{1 \text{ min}} * 0.06 = 12 \text{ km/h}$$

Figura C-92: Calle 22 entre carrera 29 y carrera 32



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{190}{1\text{min}} * 0.06 = 11,4 \text{ km/h}$$

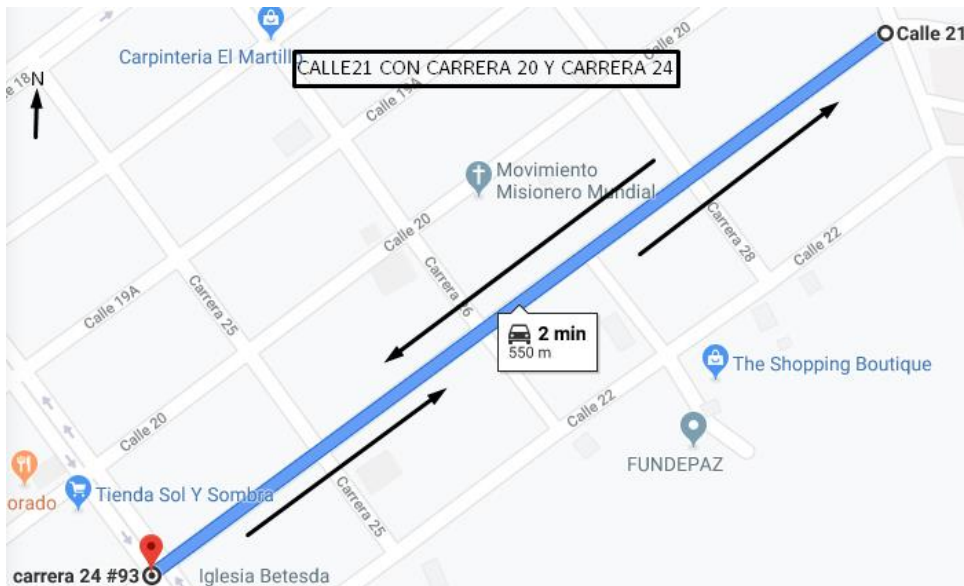
Figura C-93: Calle 22 entre carrera 20 y carrera 29



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1000}{3\text{min}} * 0.06 = 19.9 \text{ km/h}$$

**Figura C-94:** Calle 21 entre carrera 20 y carrera 24



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{550}{2\text{min}} * 0.06 = 16.5 \text{ km/h}$$

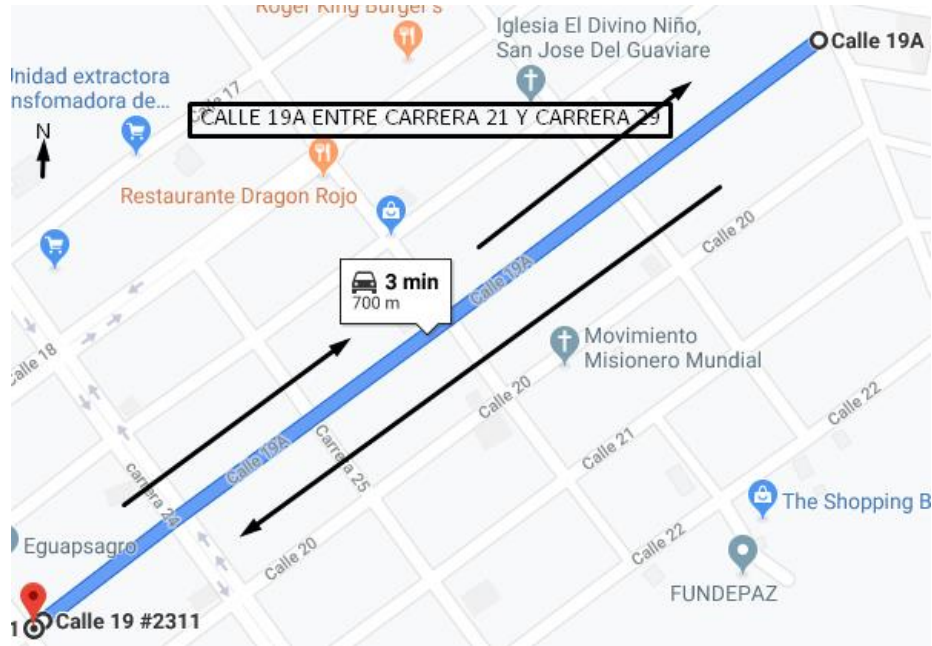
**Figura C-95:** Calle 20 entre carrera 22 y carrera 29



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{850}{3\text{min}} * 0.06 = 16.9 \text{ km/h}$$

**Figura C-96:** Calle 19A entre carrera 21 y carrera 29



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{850}{3\text{min}} * 0.06 = 16.9 \text{ km/h}$$

**Figura C-97:** Calle 19 entre carrera 23 y carrera 29



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{700}{3\text{min}} * 0.06 = 13.9 \text{ km/h}$$

**Figura C-98:** Calle 18 entre calle 14 y carrera 26



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350}{1\text{min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

**Figura C-99:** Calle 17 entre carrera 24 y transversal 23



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350}{1\text{min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$



**Figura C-100:** Calle 17 entre carrera 24 y calle 14



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{550}{2\text{min}} * 0.06 = 16.5 \text{ km/h}$$

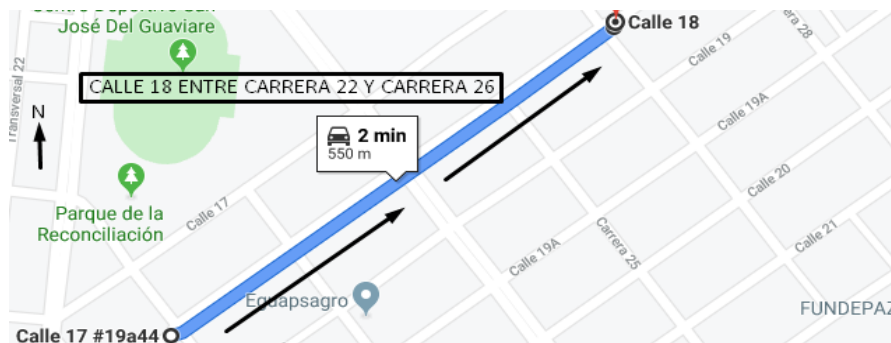
**Figura C-101:** Calle 18 entre carrera 29 y carrera 23



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{550}{2\text{min}} * 0.06 = 16.5 \text{ km/h}$$

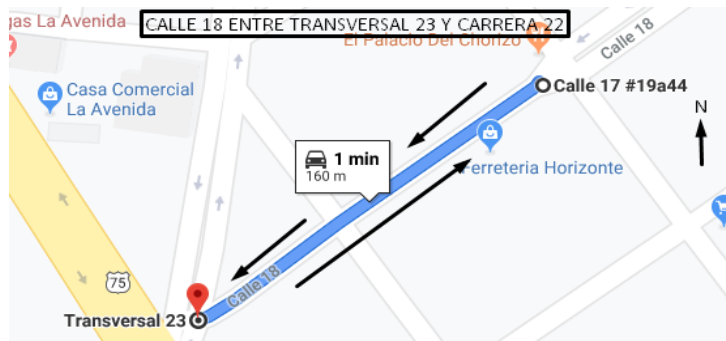
**Figura C-102:** Calle 18 entre carrera 26 y carrera 22



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{550}{2\text{min}} * 0.06 = 16.5 \text{ km/h}$$

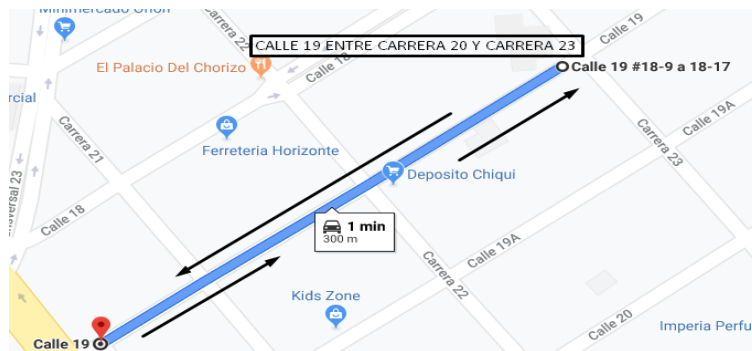
**Figura C-103:** Calle 18 entre carrera 22 y transversal 23



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{160}{1 \text{ min}} * 0.06 = 9.6 \text{ km/h}$$

**Figura C-104:** Calle 19 entre carrera 20 y carrera 23



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300}{1 \text{ min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

**Figura C-105:** Calle 19A entre carrera 20 y carrera 23



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300}{1 \text{ min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

**Figura C-106:** Calle 20 entre carrera 20 y carrera 22



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{170}{1\text{min}} * 0.06 = 10.2 \text{ km/h}$$

**Figura C-107:** Calle 21 entre carrera 20 y carrera 24



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{450}{2\text{min}} * 0.06 = 13.5 \text{ km/h}$$

**Figura C-108:** Carrera20 entre Calle 19 y Calle 22



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{290}{1 \text{ min}} * 0.06 = 17,4 \text{ km/h}$$

**Figura C-109:** Carrera 21 entre calle 17 y calle 22



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{450}{2 \text{ min}} * 0.06 = 13,5 \text{ km/h}$$

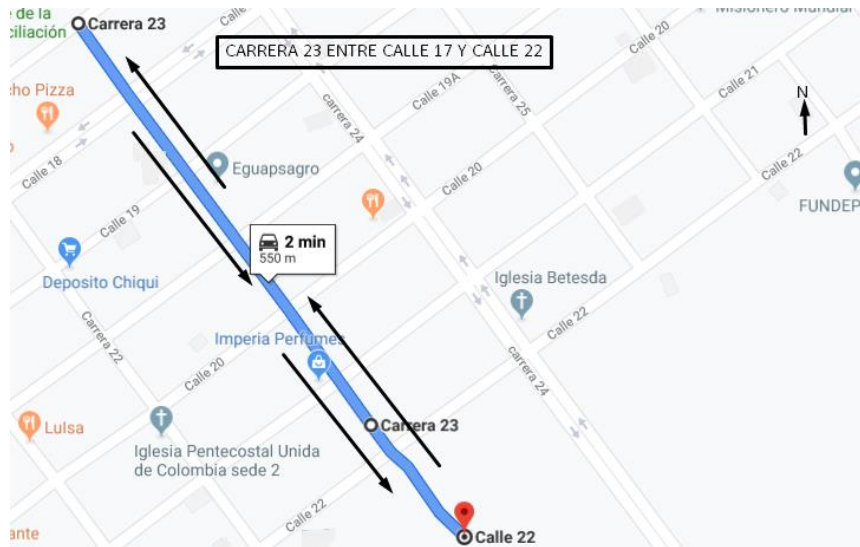
Figura C-110: Calle 22 entre transversal 23 y calle 22



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{550}{2\text{min}} * 0.06 = 16,5 \text{ km/h}$$

Figura C-111: Carrera 23 entre calle 17 y calle 22



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{550}{2\text{min}} * 0.06 = 16,5 \text{ km/h}$$

**Figura C-112:** Carrera 24 entre calle 18 y calle 21



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{800}{2\text{min}} * 0.06 = 24 \text{ km/h}$$

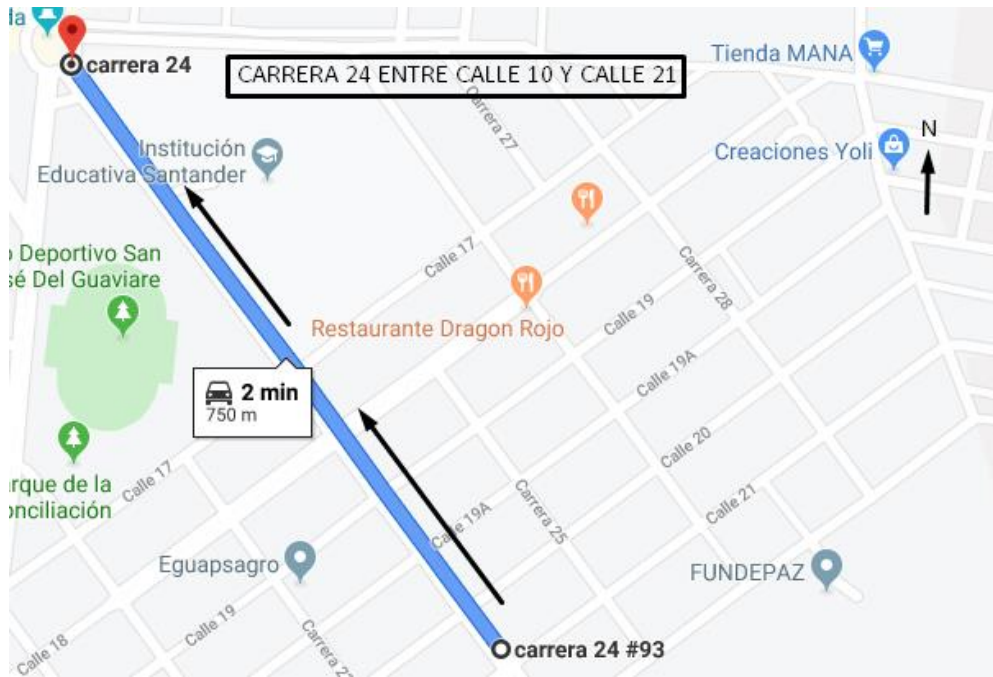
**Figura C-113:** Carrera 24 entre calle 21 y calle 25



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400}{1\text{min}} * 0.06 = 24 \text{ km/h}$$

**Figura C-114:** Carrera 24 entre calle 21 y calle 10



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{750}{2\text{min}} * 0.06 = 22.5 \text{ km/h}$$

**Figura C-115:** Carrera 24 entre calle 25 y calle 21



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400}{1\text{min}} * 0.06 = 24 \text{ km/h}$$

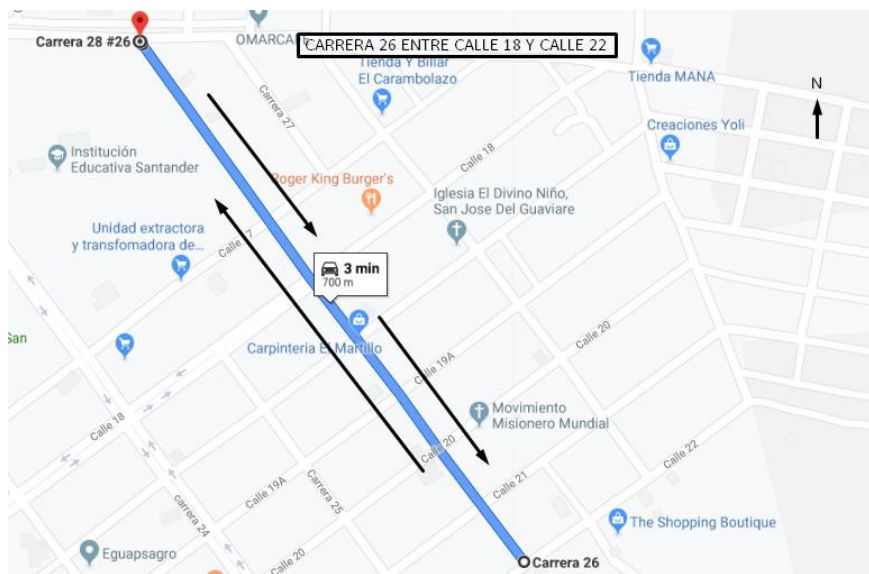
**Figura C-116:** Carrera 25 entre calle 18 y calle 22



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350}{1 \text{ min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

Figura C-117: Carrera 26 entre calle 22 y calle 14



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{700}{3 \text{ min}} * 0.06 = 13.9 \text{ km/h}$$

Figura C-118: Carrera 28 entre calle 22 y calle 14

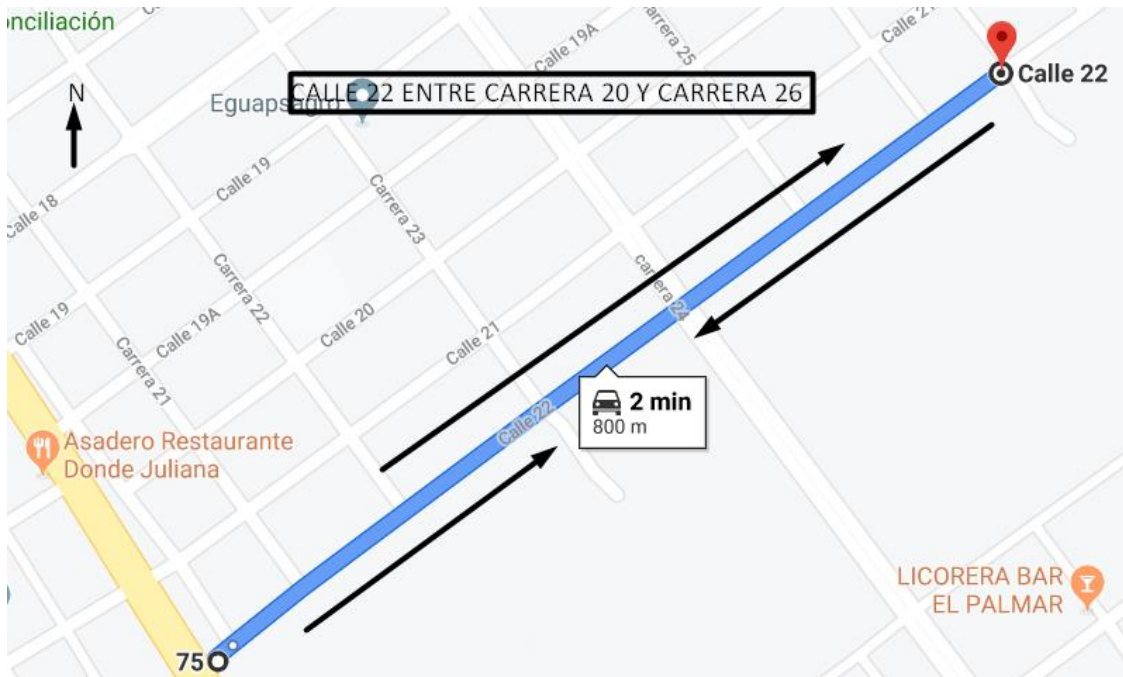




Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{550}{2\text{min}} * 0.06 = 16.5 \text{ km/h}$$

Figura C-119: Calle 22 entre carrera 20 y carrera 26



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{800}{2\text{min}} * 0.06 = 24 \text{ km/h}$$

Figura C-120: Carrera 19C entre calle 12A y calle 13



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{170}{1\text{min}} * 0.06 = 10.2 \text{ km/h}$$

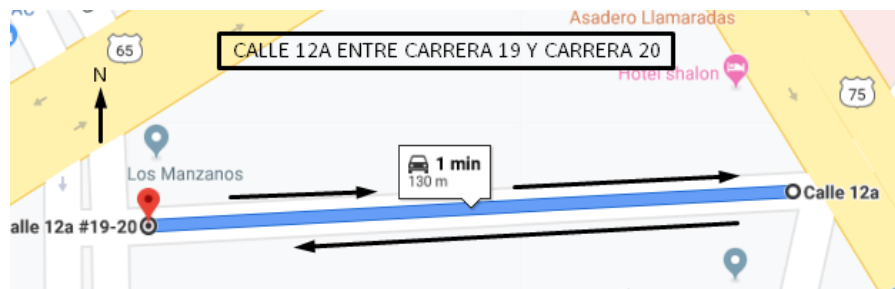
Figura C-121



: Calle 12B entre carrera 19 y carrera 20, Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{170}{1\text{min}} * 0.06 = 10.2 \text{ km/h}$$

Figura C-122: Calle 12A entre carrera 19 y carrera 20



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{130}{1\text{min}} * 0.06 = 7.8 \text{ km/h}$$

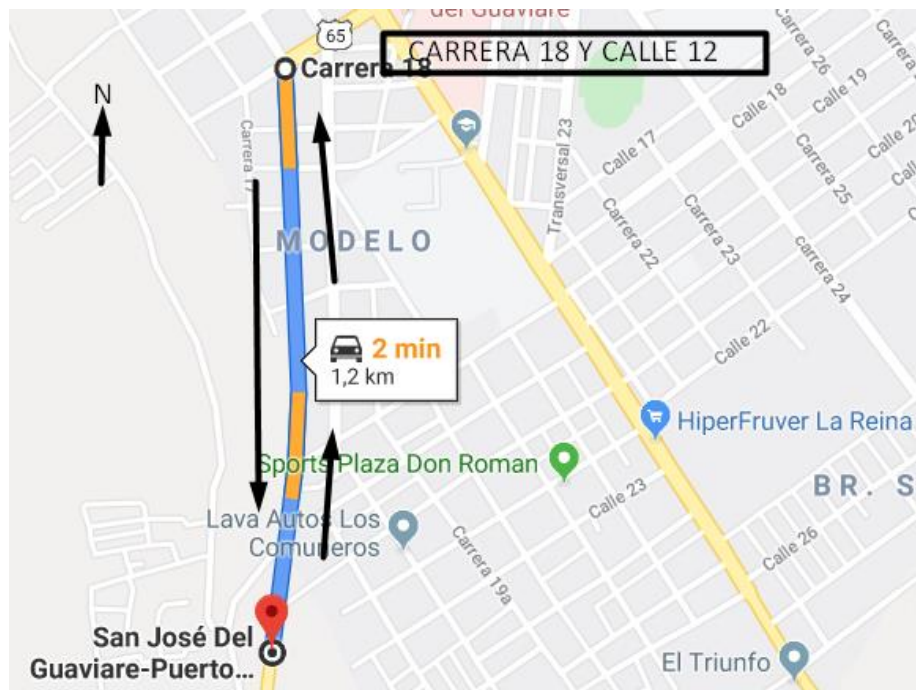
Figura C-123: Calle 13 entre carrera 19A y carrera 17



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{270}{2\text{min}} * 0.06 = 16,2 \text{ km/h}$$

Figura C-124: Calle 13 entre carrera 17 y carrera 19A



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1200}{2\text{min}} * 0.06 = 36 \text{ km/h}$$

Figura C-125: Carrera 19 entre calle 19 y calle 12



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{850}{2\text{min}} * 0.06 = 25.6 \text{ km/h}$$

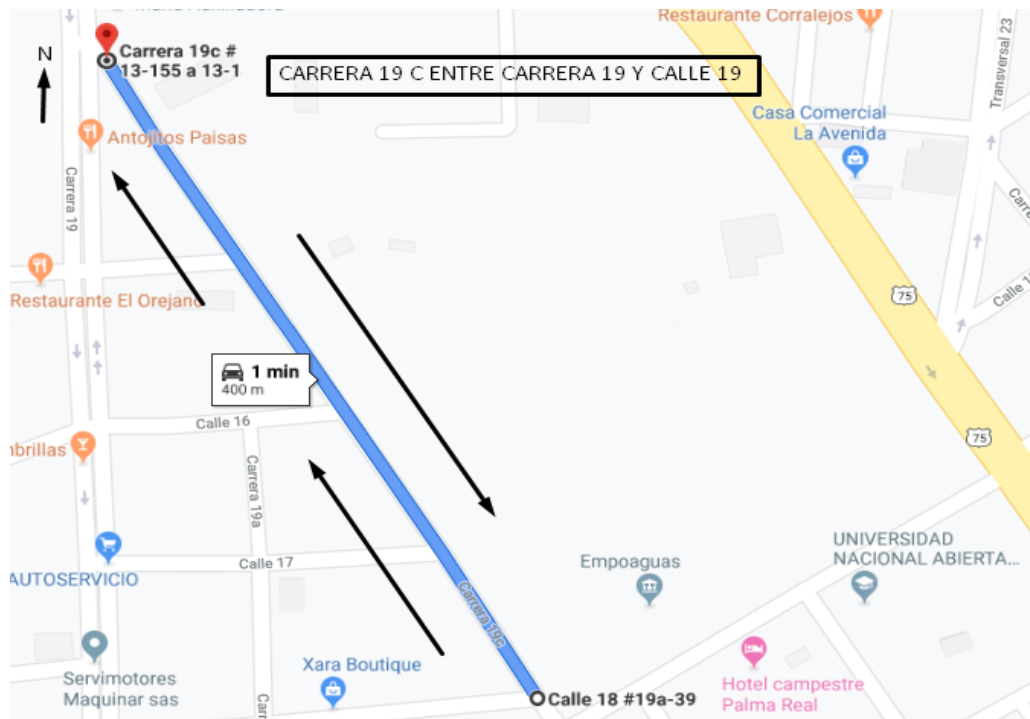
Figura C-126: Carrera 19 entre calle 12 y calle 19



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{850}{2\text{min}} * 0.06 = 25.6 \text{ km/h}$$

Figura C-127: Carrera 19C entre carrera 19 y calle 19



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400}{1\text{min}} * 0.06 = 24 \text{ km/h}$$

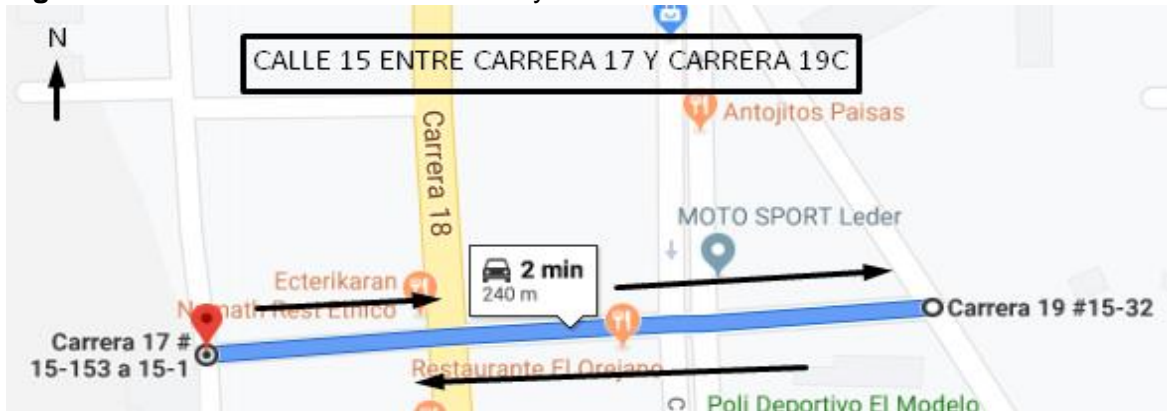
Figura C-128: Calle 14 entre carrera 20 y carrera 17



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{450}{2\text{min}} * 0.06 = 13.5 \text{ km/h}$$

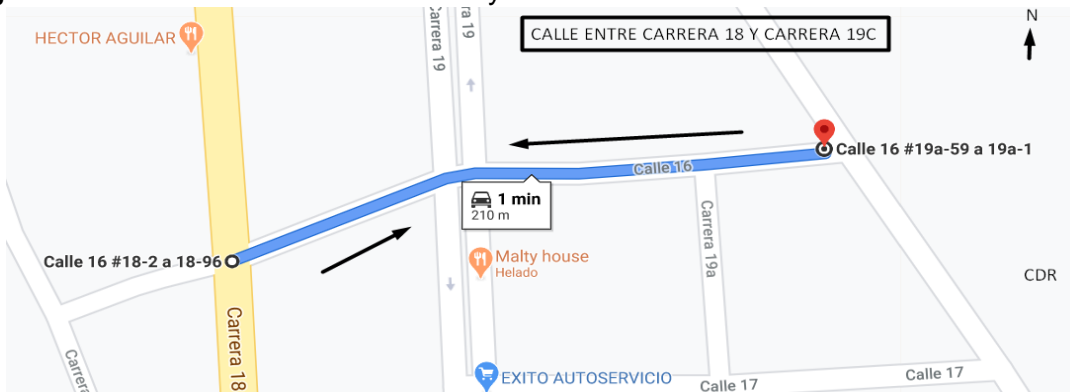
**Figura C-129:** Calle 15 entre carrera 17 y carrera 19C



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{240}{2\text{min}} * 0.06 = 10.5 \text{ km/h}$$

**Figura C-130:** Calle 16 entre carrera 17 y carrera 19C



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{210}{1\text{min}} * 0.06 = 12.6 \text{ km/h}$$

**Figura C-131:** Calle 17 entre carrera 19 y carrera 19C



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{150}{1\text{min}} * 0.06 = 9 \text{ km/h}$$

**Figura C-132:** Calle 18 entre carrera 19 y carrera 19C



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{200}{1 \text{ min}} * 0.06 = 12 \text{ km/h}$$

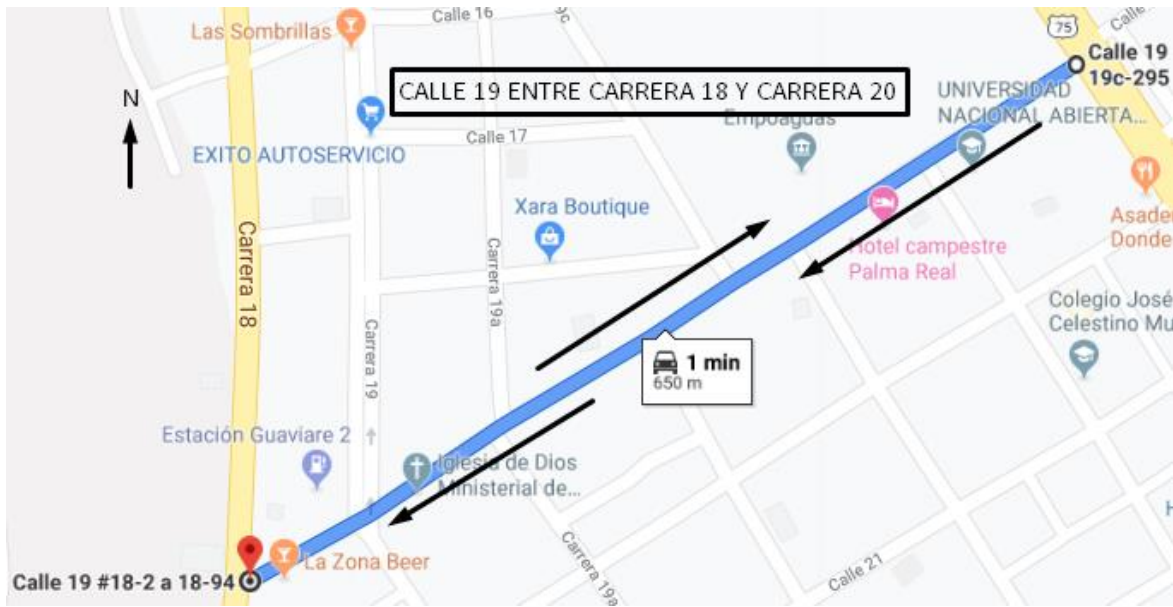
**Figura C-133:** Carrera 19A entre calle 16 y calle 18



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{250}{1 \text{ min}} * 0.06 = 15 \text{ km/h}$$

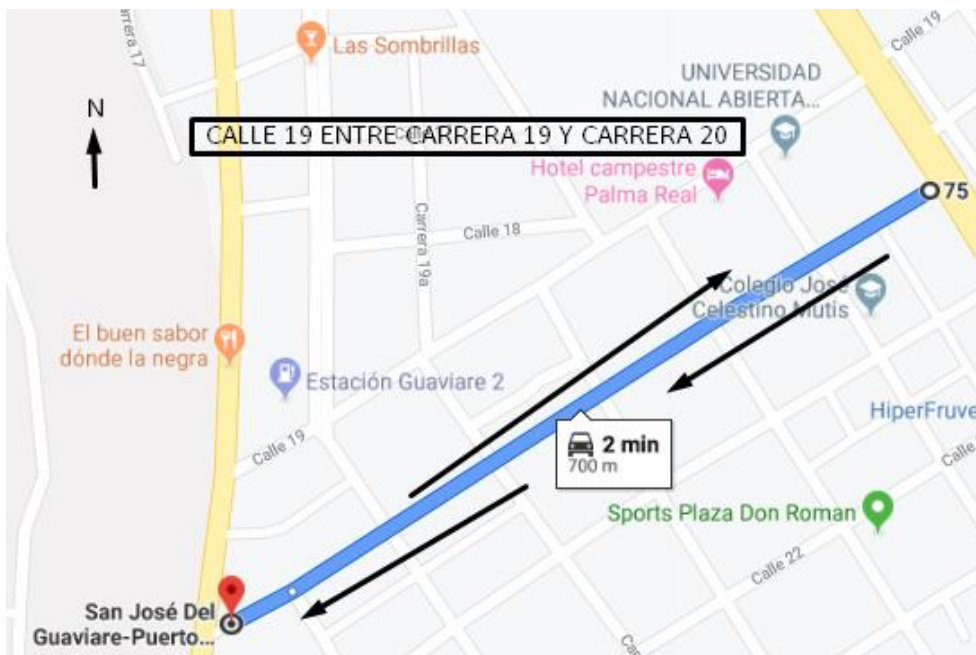
**Figura C-134:** Calle 19 entre carrera 18 y carrera 20



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{650}{1 \text{ min}} * 0.06 = 39 \text{ km/h}$$

**Figura C-135:** Calle 19B entre carrera 19 y carrera 20



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{700}{2 \text{ min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$



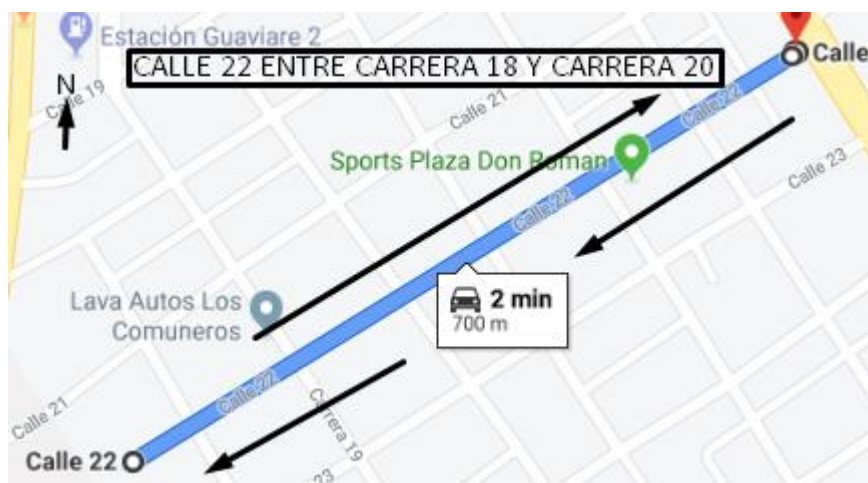
**Figura C-136:** Calle 21 entre carrera 18 y carrera 20



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{850}{3\text{min}} * 0.06 = 16.9 \text{ km/h}$$

**Figura C-137:** Calle 22 entre carrera 18 y carrera 20



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{700}{2\text{min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

**Figura C-138:** Calle 23 entre carrera 17 y carrera 20



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{750}{3 \text{ min}} * 0.06 = 15 \text{ km/h}$$

**Figura C-139:** Calle 24 entre carrera 19 y carrera 20



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{550}{2 \text{ min}} * 0.06 = 16.5 \text{ km/h}$$

**Figura C-140:** Calle 23A entre carrera 18 y carrera 19A



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{220}{1\text{min}} * 0.06 = 13.2 \text{ km/h}$$

**Figura C-141:** Calle 24B entre carrera 18 y carrera 19A



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{230}{1\text{min}} * 0.06 = 13.8 \text{ km/h}$$

**Figura C-142:** Calle 24A entre carrera 20 y carrera 19C



, Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{210}{1 \text{ min}} * 0.06 = 12.6 \text{ km/h}$$

**Figura C-143:** Calle 25A entre carrera 19A y carrera 20



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400}{2 \text{ min}} * 0.06 = 12 \text{ km/h}$$

**Figura C-144:** Calle 26 entre carrera 20 y carrera 19A



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{400}{2\text{min}} * 0.06 = 12 \text{ km/h}$$

**Figura C-145:** Calle 19E entre carrera 20 y carrera 22



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{190}{1\text{min}} * 0.06 = 11.4 \text{ km/h}$$

**Figura C-146:** Carrera 19D entre calle 19 y calle 26



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{700}{3\text{min}} * 0.06 = 14 \text{ km/h}$$

**Figura C-147:** Carrera 19C entre calle 19 y calle 26



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{800}{3\text{min}} * 0.06 = 16 \text{ km/h}$$

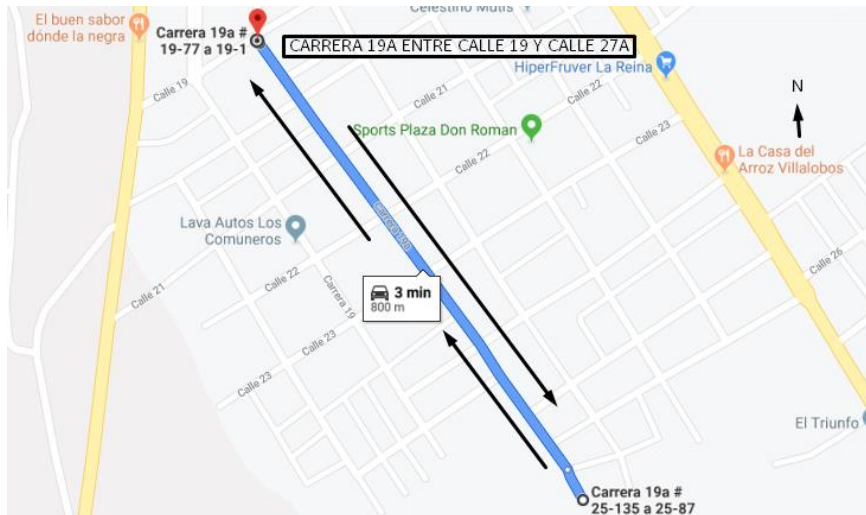
**Figura C-148:** Calle 19B entre calle 19 y calle 27



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{800}{3 \text{ min}} * 0.06 = 15.9 \text{ km/h}$$

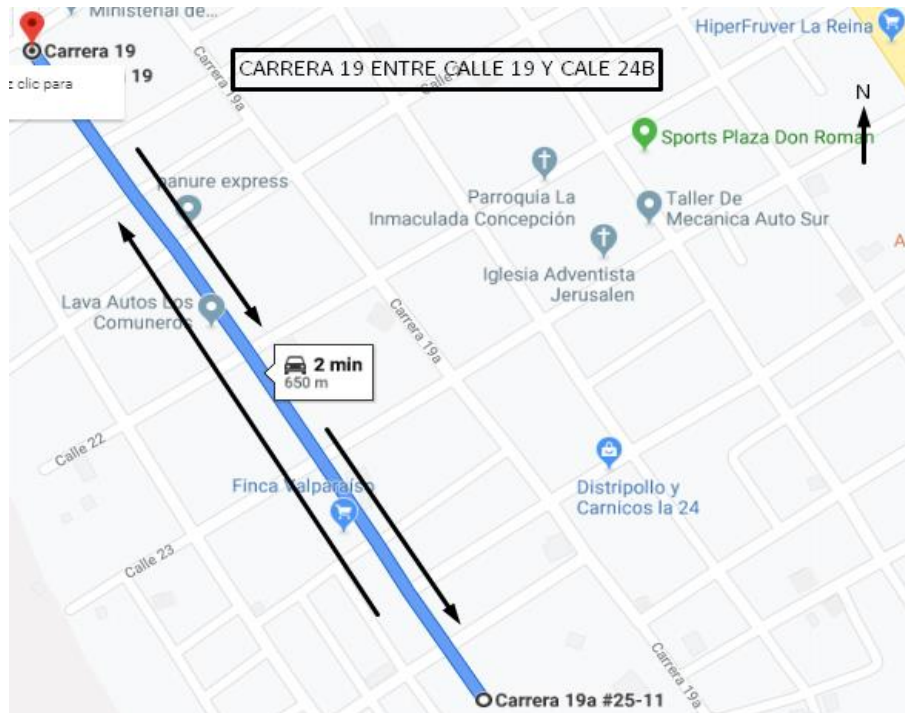
**Figura C-149:** Carrera 19A entre calle 19 y calle 27A



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{800}{3 \text{ min}} * 0.06 = 15.9 \text{ km/h}$$

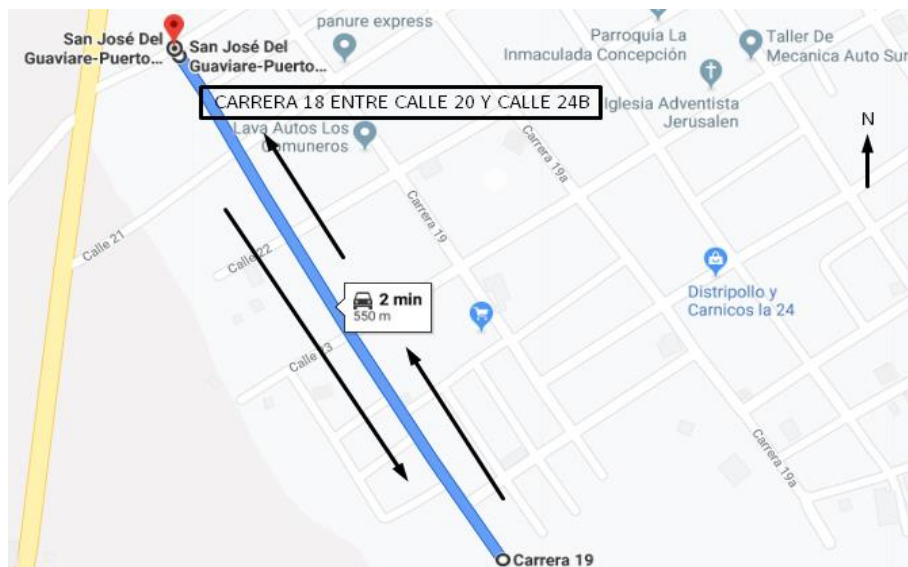
**Figura C-150:** Carrera 19 entre calle 19 y calle 24B



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{650}{2\text{min}} * 0.06 = 19.5 \text{ km/h}$$

**Figura C-151:** Carrera 18 entre calle 19 y calle 24B



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{550}{2\text{min}} * 0.06 = 16.5 \text{ km/h}$$



**Figura C-152:** Carrera 17 entre calle 23 y calle 24A



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{160}{1 \text{ min}} * 0.06 = 9.6 \text{ km/h}$$

**Figura C-153:** Carrera 18A entre carrera 23B y calle 24B



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{160}{1 \text{ min}} * 0.06 = 9.6 \text{ km/h}$$

**Figura C-154:** Carrera 18B entre carrera 23B y calle 24B



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{160}{1\text{min}} * 0.06 = 9.6 \text{ km/h}$$

**Figura C-155:** Carrera 25 entre carrera 20 y carrera 22



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{900}{4\text{min}} * 0.06 = 13.5 \text{ km/h}$$

Figura C-156: Calle 26 entre carrera 20 y carrera 27



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{900}{3 \text{ min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

Figura C-157: Calle 27 entre carrera 20 y carrera 27



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{900}{3 \text{ min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

**Figura C-158:** Calle 26 entre carrera 20 y carrera 27



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{950}{4\text{min}} * 0.06 = 14.25 \text{ km/h}$$

**Figura C-159:** Calle 26 entre carrera 20 y carrera 27



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{700}{3\text{min}} * 0.06 = 14 \text{ km/h}$$

**Figura C-160:** Calle 30 entre carrera 22 y carrera 27



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{650}{3\text{min}} * 0.06 = 13 \text{ km/h}$$

**Figura C-161:** Calle 31 entre carrera 25 y carrera 27



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300}{1\text{min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

**Figura C-162:** Calle 32 entre carrera 22 y carrera 27



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{700}{3 \text{ min}} * 0.06 = 14 \text{ km/h}$$

**Figura C-163:** Carrera 26 entre calle 25 y calle 28



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300}{1 \text{ min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

**Figura C-164:** Carrera 25 entre calle 25 y calle 28



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300}{1\text{min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

**Figura C-165:** Carrera 22 entre calle 25 y calle 32



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{500}{2\text{min}} * 0.06 = 15 \text{ km/h}$$

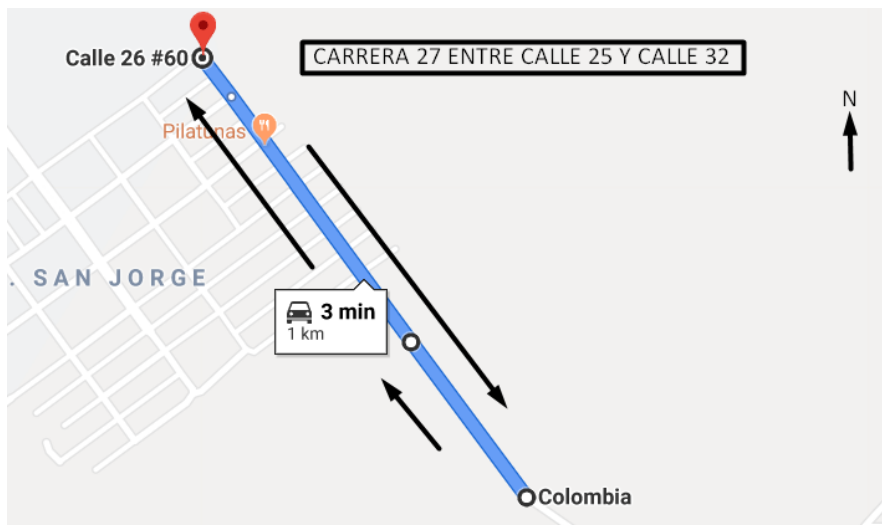
**Figura C-166:** Carrera 20A entre calle 25 y calle 28



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300}{1 \text{ min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

**Figura C-167:** Carrera 27 entre calle 25 y calle 32



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1000}{3 \text{ min}} * 0.06 = 20 \text{ km/h}$$



**Figura C-168:** Carrera 24 entre calle 25 y calle 32



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{800}{3\text{min}} * 0.06 = 20 \text{ km/h}$$

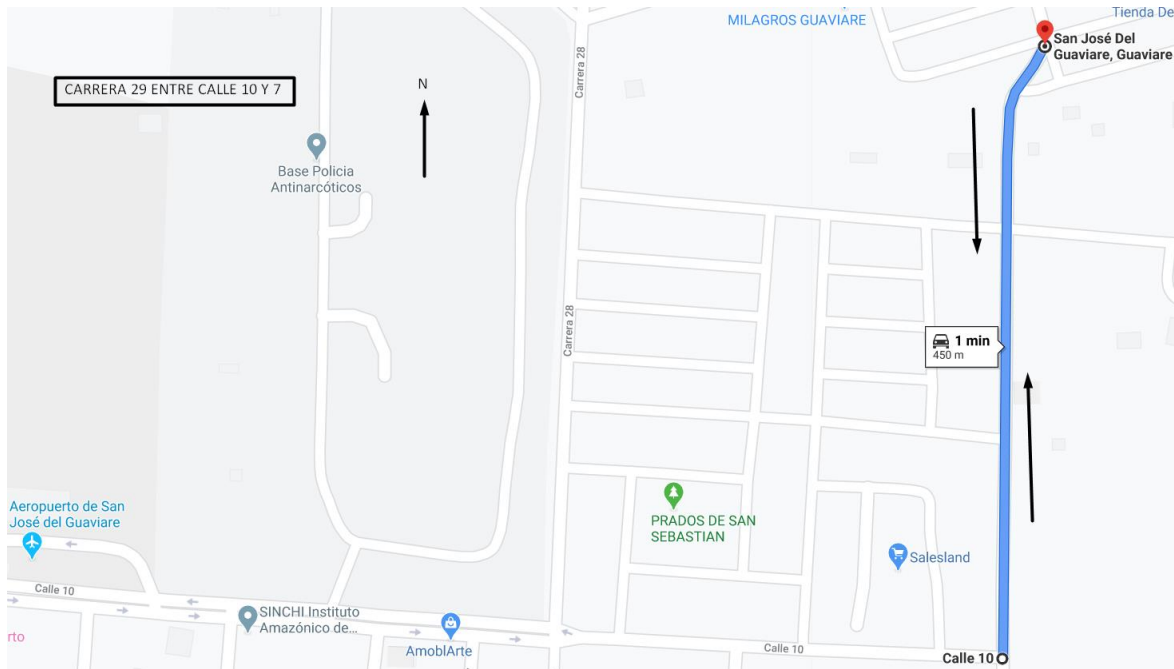
**Figura C-169:** Calle 9 entre carrera 28 y carrera 29



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300}{1\text{min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

**Figura C-170:** Carrera 29 entre calle 10 y calle 7



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{450}{1 \text{ min}} * 0.06 = 27 \text{ km/h}$$

**Figura C-171:** Carrera 28C entre calle 10 y calle 9



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300}{1 \text{ min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

**Figura C-172:** Carrera 28 entre calle 10 y calle 6



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{600}{2\text{min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

**Figura C-173:** Calle 6A entre carrera 28 y carrera 31



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{450}{2\text{min}} * 0.06 = 13.5 \text{ km/h}$$

**Figura C-174:** Calle 7A entre carrera 28 y carrera 31



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{500}{1\text{min}} * 0.06 = 30 \text{ km/h}$$

**Figura C-175:** Carrera 31 entre calle 7B y calle 6



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350}{1 \text{ min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

**Figura C-176:** Carrera 30 entre carrera 7B y calle 5B



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300}{2 \text{ min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

**Figura C-177:** Carrera 29 entre calle 6 y calle 7A



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{290}{1 \text{ min}} * 0.06 = 17,4 \text{ km/h}$$

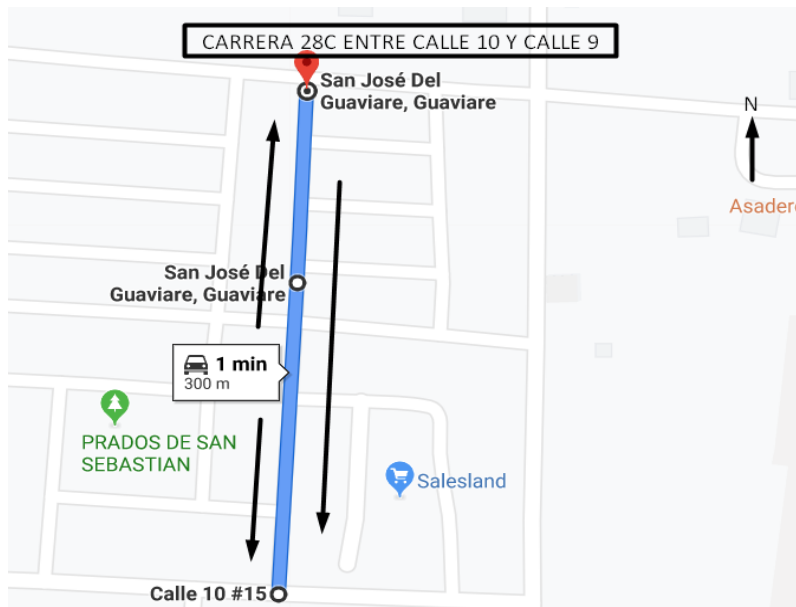
**Figura C-178:** Carrera 28 entre calle 6 y calle 7A



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{260}{1 \text{ min}} * 0.06 = 15,6 \text{ km/h}$$

**Figura C-179:** Carrera 28C entre calle 10 y calle 9



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300}{1 \text{ min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

**Figura C-180:** Carrera 28B entre calle 10 y calle 9



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{260}{1 \text{ min}} * 0.06 = 15,6 \text{ km/h}$$

Figura C-181: Glorieta de la transversal 23 y carrera 24



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{170}{1\text{min}} * 0.06 = 10,2 \text{ km/h}$$

Figura C-182: Glorieta de la transversal 20 y la calle 10



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{450}{1\text{min}} * 0.06 = 27 \text{ km/h}$$

## **Zonas de expansión urbana.**



**Figura C-183:** Vía de conexión a Villa Alejandra desde derivación entrada batallón ejército



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1100}{2\text{min}} * 0.06 = 33 \text{ km/h}$$

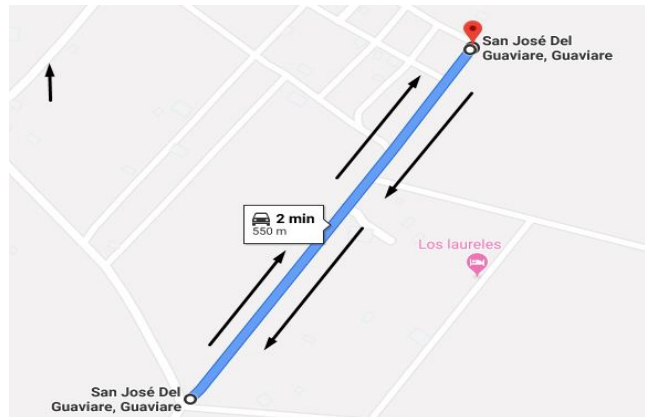
**Figura C-184:** Vía de conexión a Villa Alejandra



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1000}{2\text{min}} * 0.06 = 30 \text{ km/h}$$

**Figura C-185:** Villa Alejandra, sector los laureles



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{550}{2\text{min}} * 0.06 = 16.5 \text{ km/h}$$

**Figura C-186:** Villa Alejandra, sector los laureles



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{550}{2\text{min}} * 0.06 = 16.5 \text{ km/h}$$

**Figura C-187:** Villa Alejandra, sector los laureles



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1000}{4\text{min}} * 0.06 = 15 \text{ km/h}$$

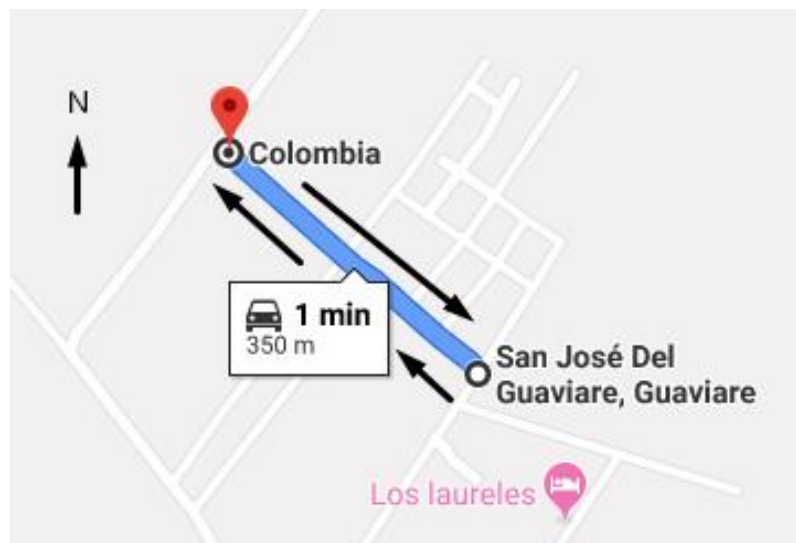
**Figura C-188:** Villa Alejandra, sector los laureles



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{850}{3\text{min}} * 0.06 = 17 \text{ km/h}$$

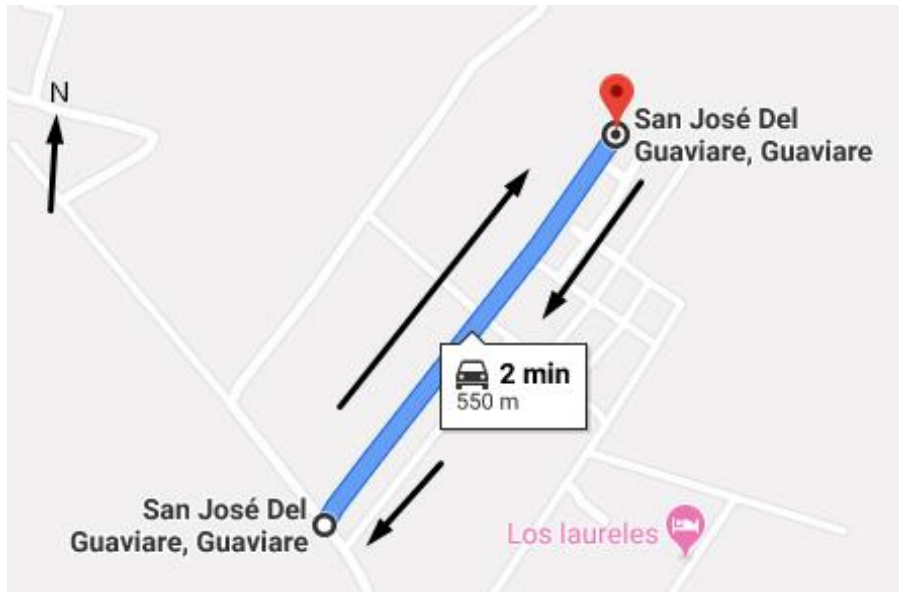
**Figura C-189:** Villa Alejandra, sector los laureles



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{350}{1\text{min}} * 0.06 = 21 \text{ km/h}$$

**Figura C-190:** Villa Alejandra, sector los laureles



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{550}{2\text{min}} * 0.06 = 16.5 \text{ km/h}$$

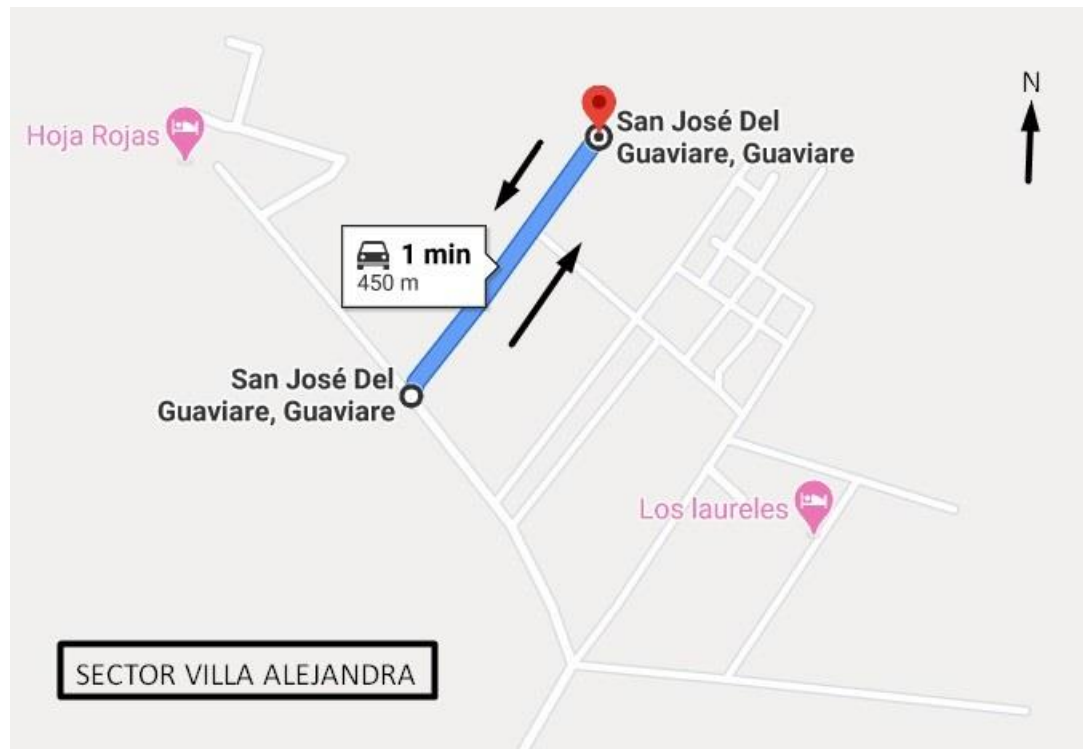
**Figura C-191:** Villa Alejandra, sector los laureles



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300}{1\text{min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

**Figura C-192:** Villa Alejandra bajo



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{450}{1 \text{ min}} * 0.06 = 27 \text{ km/h}$$

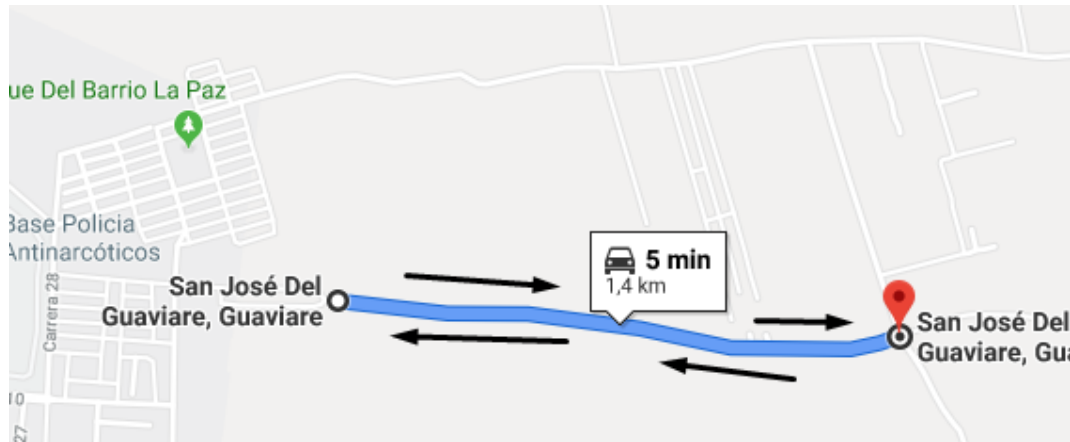
**Figura C-193:** Villa Alejandra bajo



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{850}{4 \text{ min}} * 0.06 = 12.75 \text{ km/h}$$

**Figura C-194:** Calle 9 y vía de expansión



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1400}{5 \text{ min}} * 0.06 = 16.8 \text{ km/h}$$

**Figura C-195:** Villa Alejandra Alto



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{800}{2 \text{ min}} * 0.06 = 24 \text{ km/h}$$

**Figura C-196:** Villa Alejandra Alto



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{650}{2\text{min}} * 0.06 = 19.5 \text{ km/h}$$

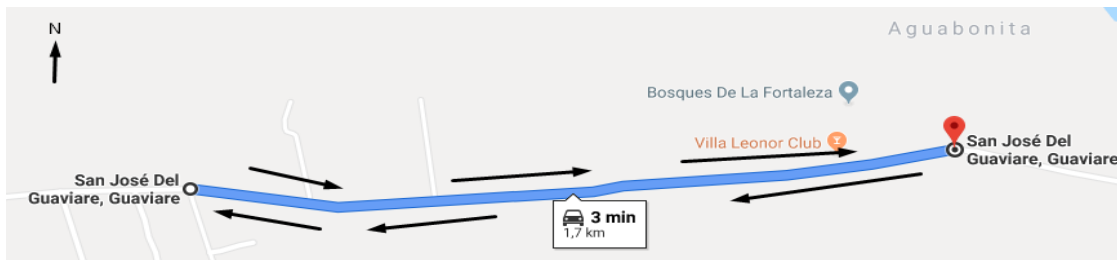
**Figura C-197:** Villa Alejandra Alto



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{600}{3\text{min}} * 0.06 = 12 \text{ km/h}$$

**Figura C-198:** Vía de expansión urbana hacia Barrancón



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1700}{3 \text{ min}} * 0.06 = 34 \text{ km/h}$$

**Figura C-199** Vía de expansión urbana hacia Barrancón



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1700}{4 \text{ min}} * 0.06 = 25.5 \text{ km/h}$$

**Figura C-200:** Villa Alejandra Alto

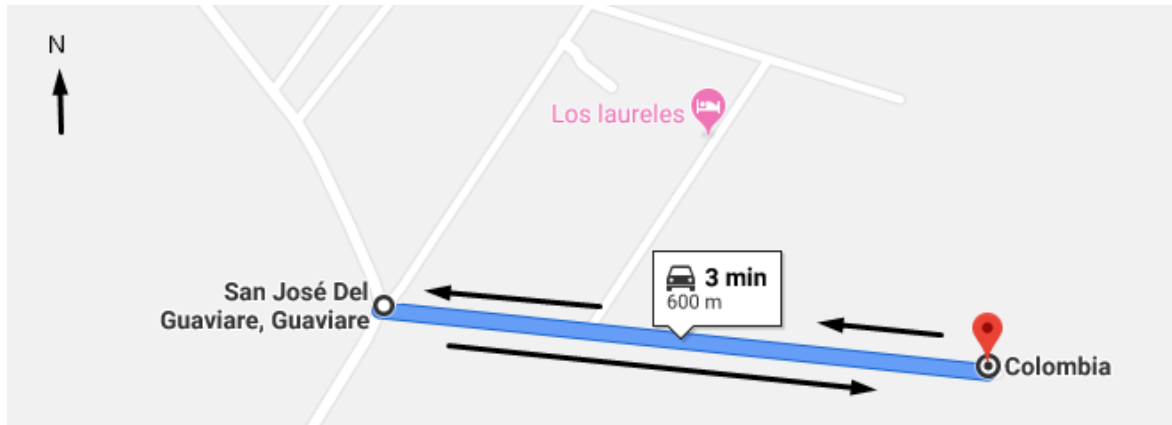


: Villa Alejandra Alto Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1200}{4 \text{ min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$



**Figura C-201:** Villa Alejandra bajo, sector los laureles



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{600}{3\text{min}} * 0.06 = 12 \text{ km/h}$$

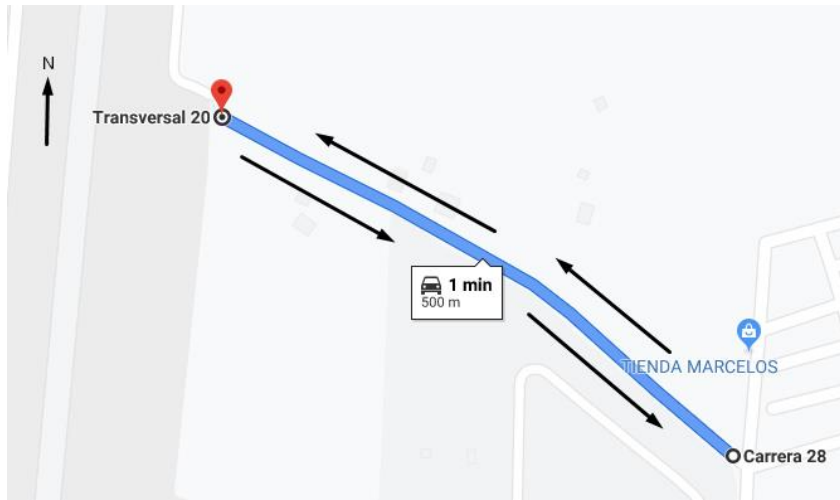
**Figura C-202:** Villa Alejandra bajo, sector los laureles



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{300}{1\text{min}} * 0.06 = 18 \text{ km/h}$$

**Figura C-203** Transversal 20 y carrera 28



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{500}{1 \text{ min}} * 0.06 = 30 \text{ km/h}$$

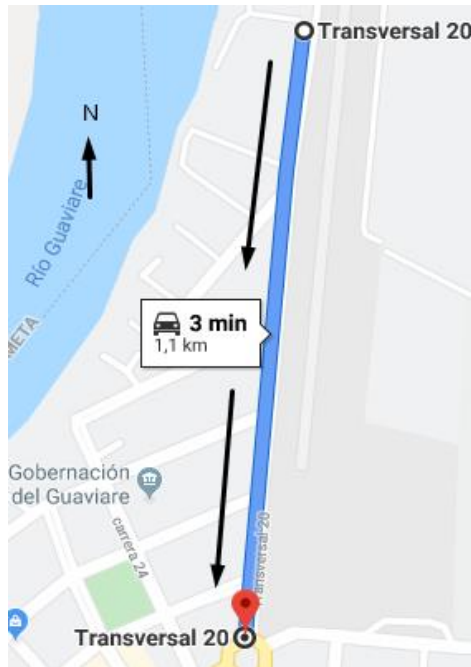
**Figura C-204:** Transversal 20 entre glorieta y carrera 33



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1100}{2 \text{ min}} * 0.06 = 33 \text{ km/h}$$

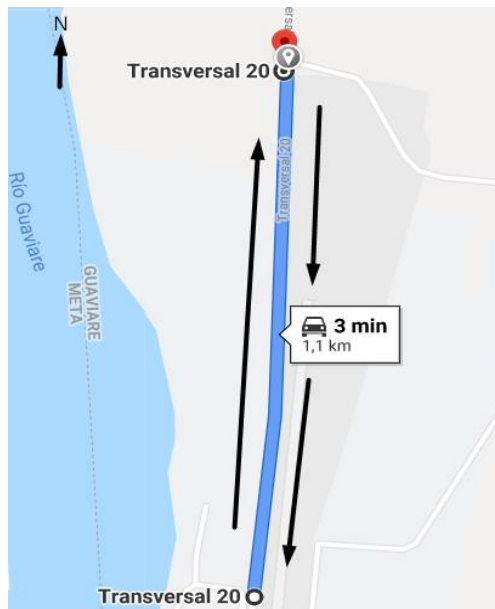
**Figura C-205:** Transversal 20 entre carrera 33 y glorieta



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1100}{3 \text{ min}} * 0.06 = 22 \text{ km/h}$$

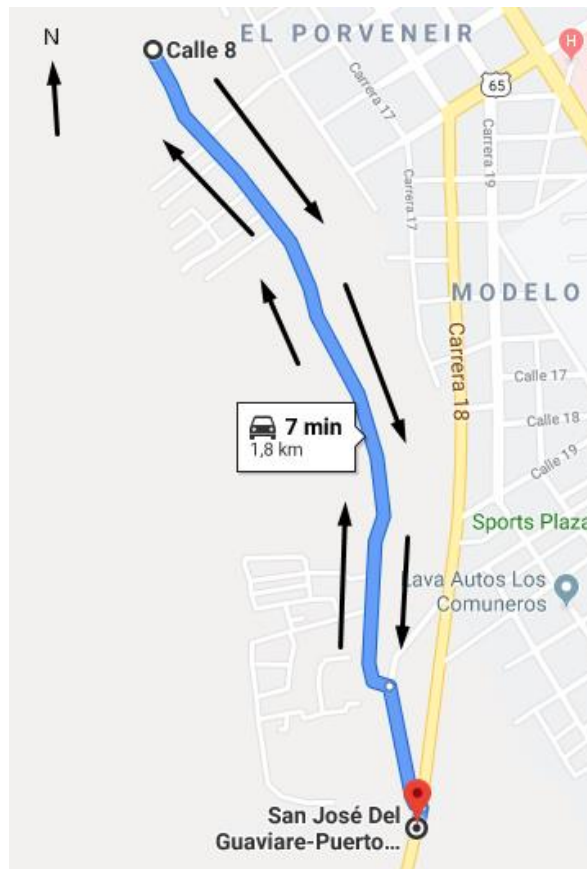
**Figura C-206** Transversal 20



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1100}{3 \text{ min}} * 0.06 = 22 \text{ km/h}$$

**Figura C-207:** Vía de conexión entre los sectores de Arazá y Providencia



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1100}{3 \text{ min}} * 0.06 = 22 \text{ km/h}$$

**Figura C-208:** Vía de conexión entre Arazá y vía nacional



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{230}{1 \text{ min}} * 0.06 = 13,8 \text{ km/h}$$

**Figura C-209:** Sector Arazá



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{290}{1\text{min}} * 0,06 = 17,4 \text{ km/h}$$

**Figura C-210:** Sector Arazá



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{210}{1\text{min}} * 0,06 = 12,6 \text{ km/h}$$

**Figura C-211:** Vía nacional ruta 6507\_hacia Villavicencio



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{2100}{3 \text{ min}} * 0.06 = 42 \text{ km/h}$$

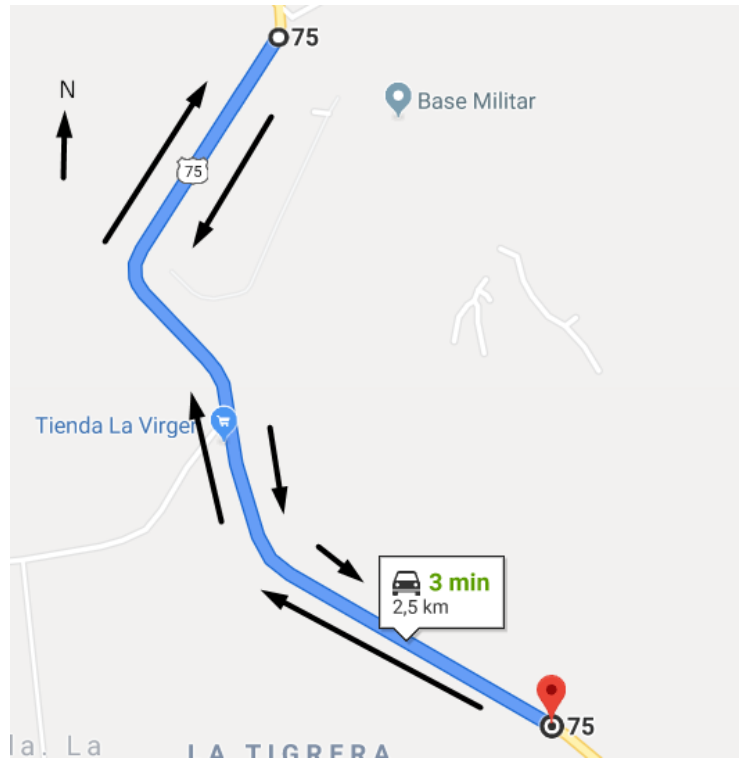
**Figura C-212:** Vía nacional ruta 7506\_hacia Calamar



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1200}{2 \text{ min}} * 0.06 = 33 \text{ km/h}$$

**Figura C-213:** Vía nacional ruta 7506\_hacia Calamar



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{2500}{3 \text{ min}} * 0.06 = 50 \text{ km/h}$$

**Figura C-214:** Vía hacia vereda La Tigresa



Fuente: Google Maps

$$\text{Velocidad media espacial: } \frac{1000}{2 \text{ min}} * 0.06 = 30 \text{ km/h}$$

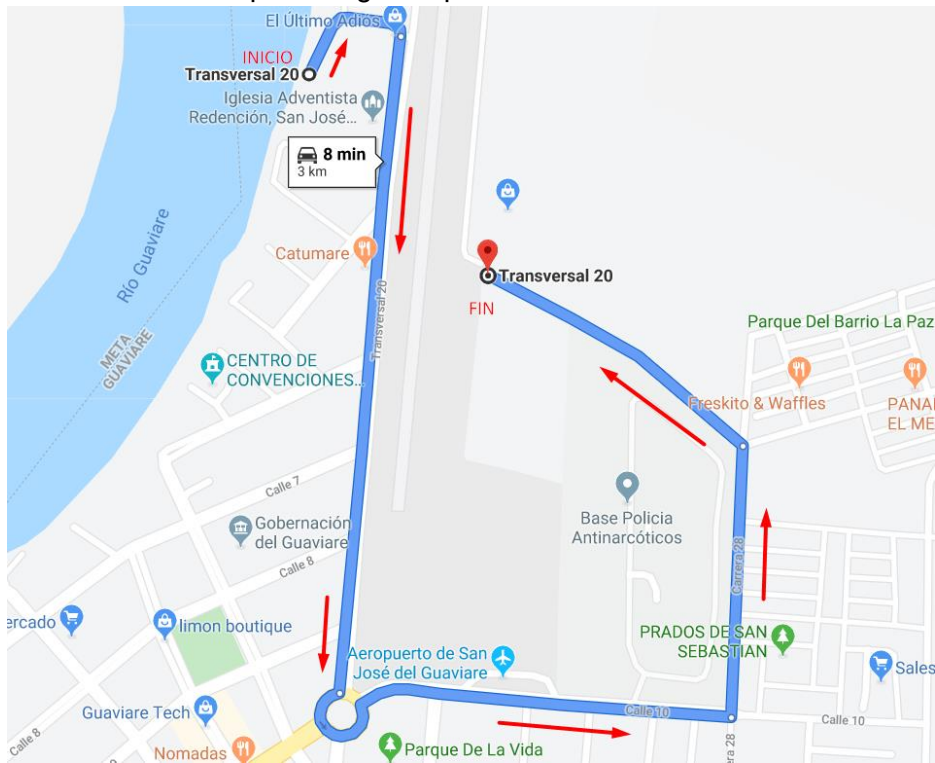
# **Anexo D.**

## **Calibración de la red.**

TranCAD y Google Maps.

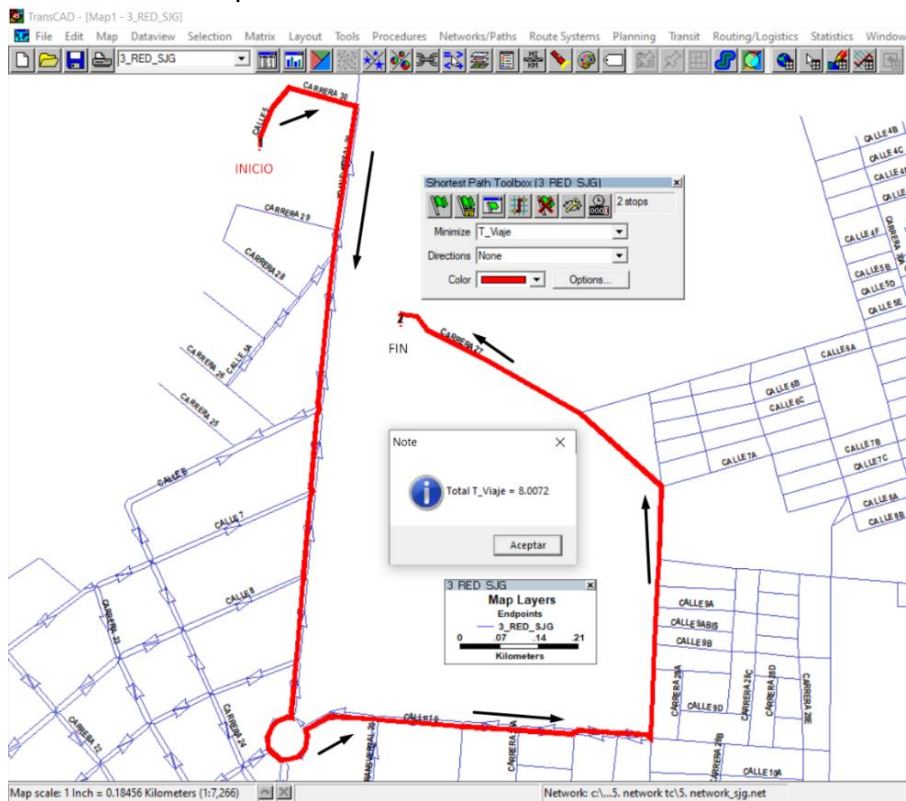


Figura D-1: Ruta mínima 1 por Google Maps.



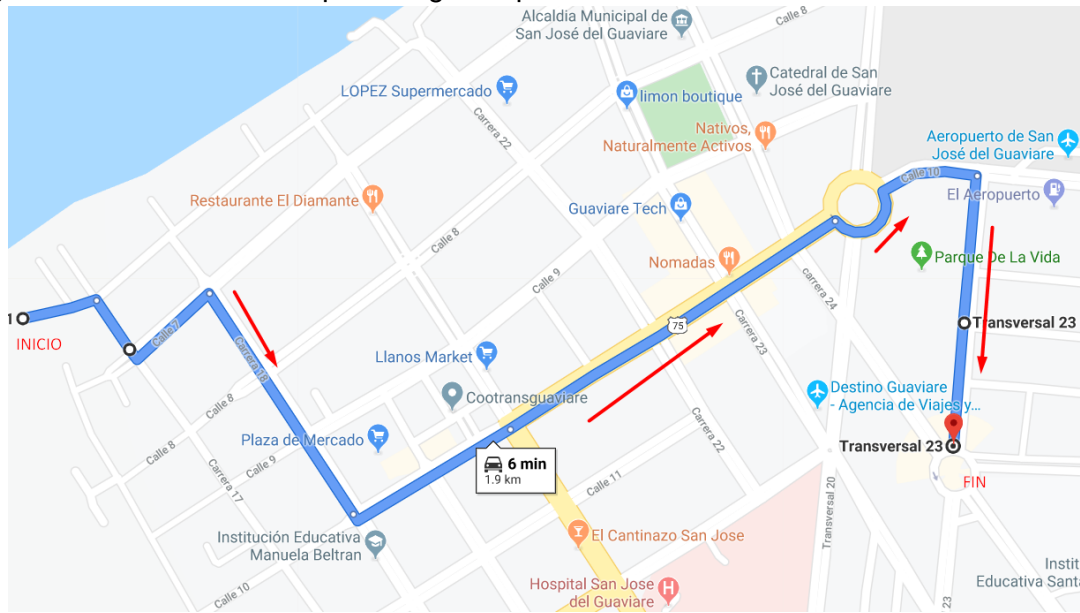
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-2: Ruta mínima 1 por TransCAD.



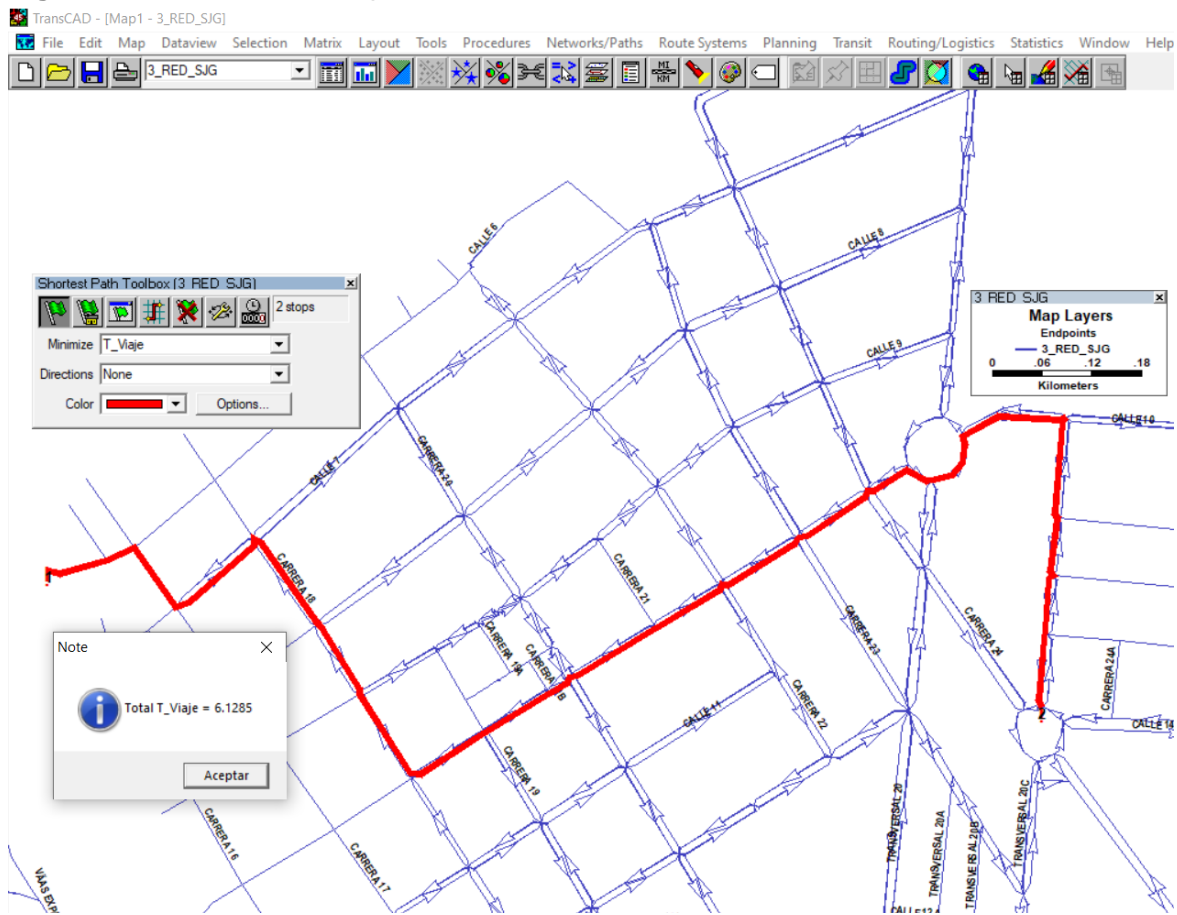
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-3: Ruta mínima 2 por Google Maps.



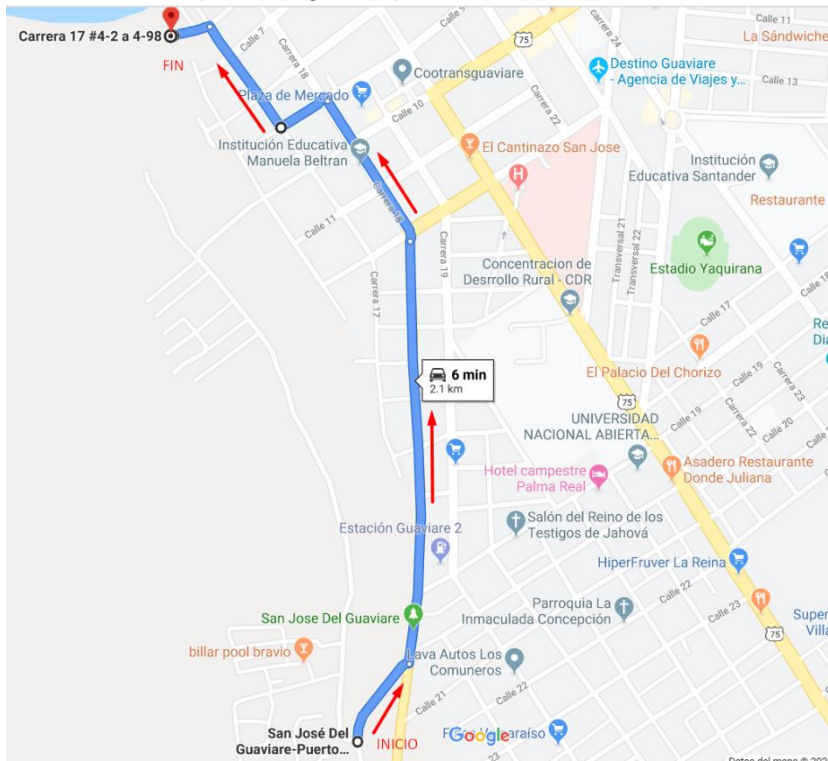
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-4: Ruta mínima 2 por TransCAD.



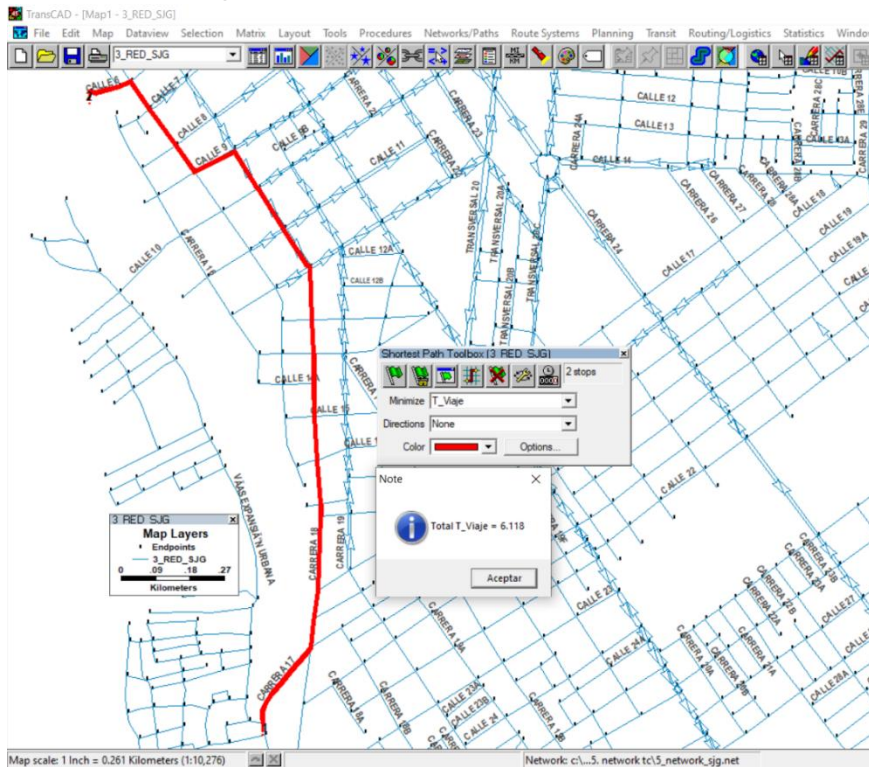
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-5: Ruta mínima 3 por Google Maps.



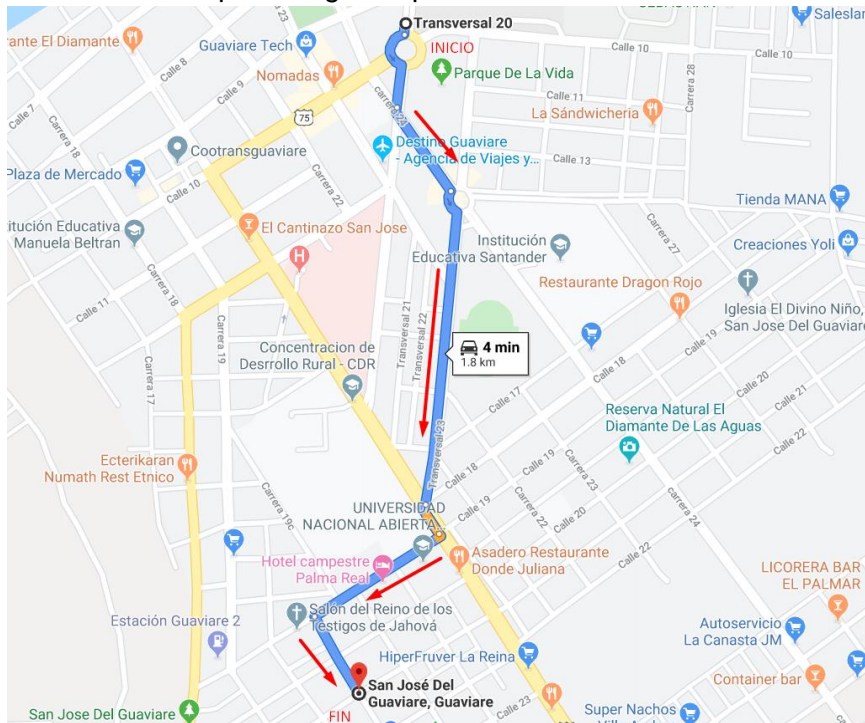
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-6: Ruta mínima 3 por TransCAD.



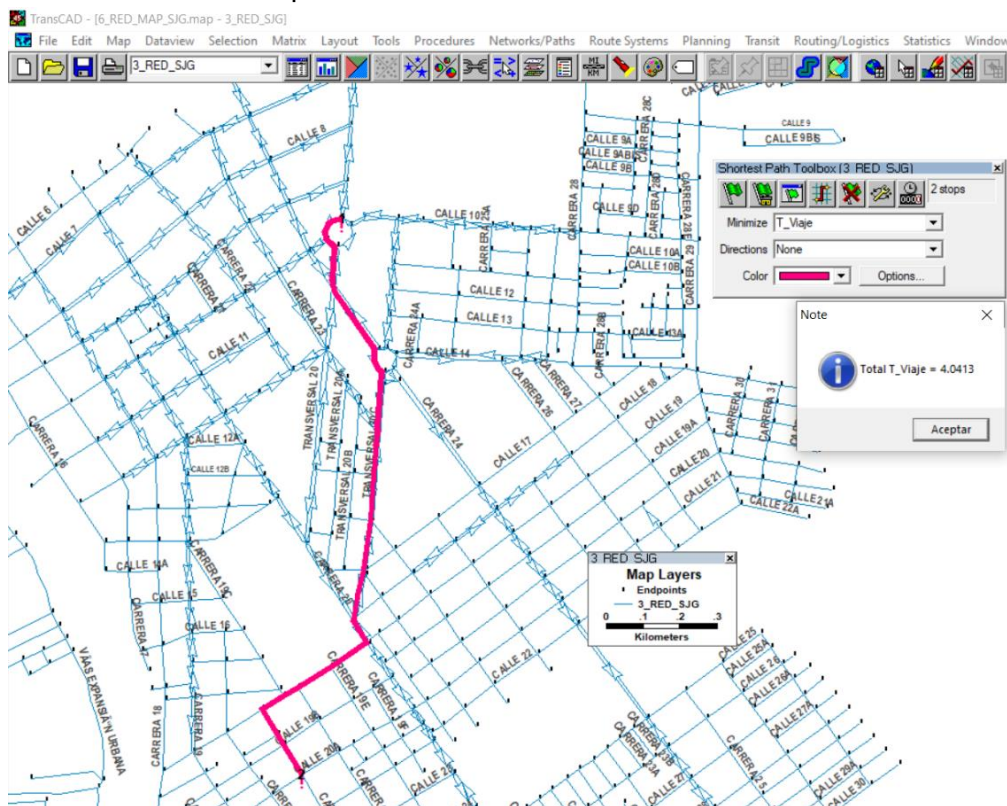
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-7: Ruta mínima 4 por Google Maps



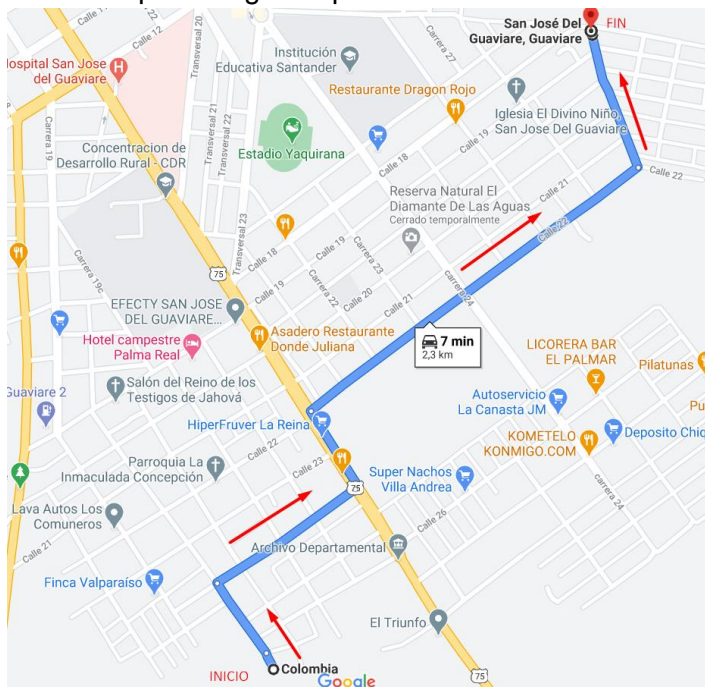
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-8: Ruta mínima 4 por TransCAD.



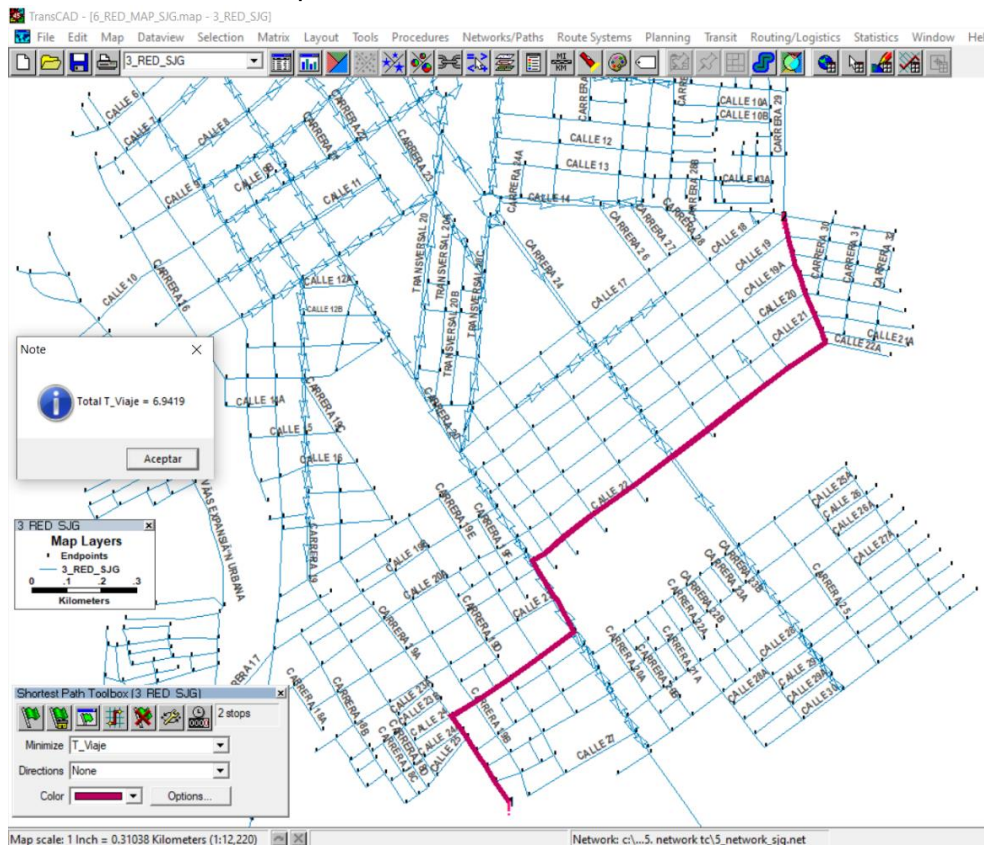
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-9: Ruta mínima 5 por Google Maps.



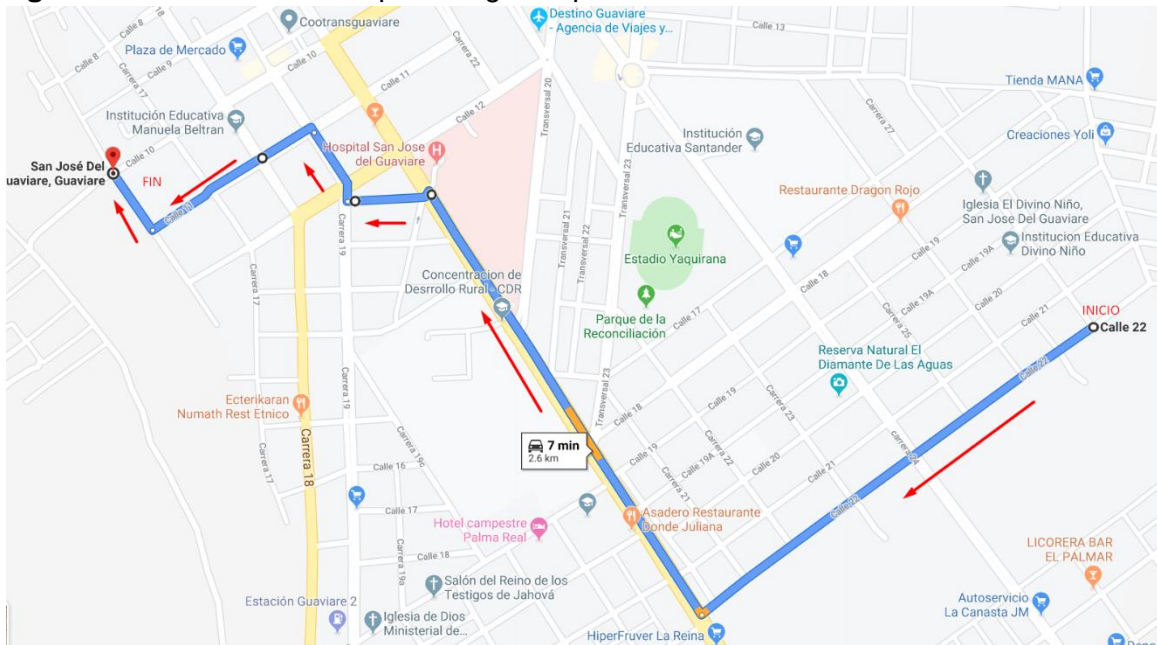
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-10: Ruta mínima 5 por TransCAD.



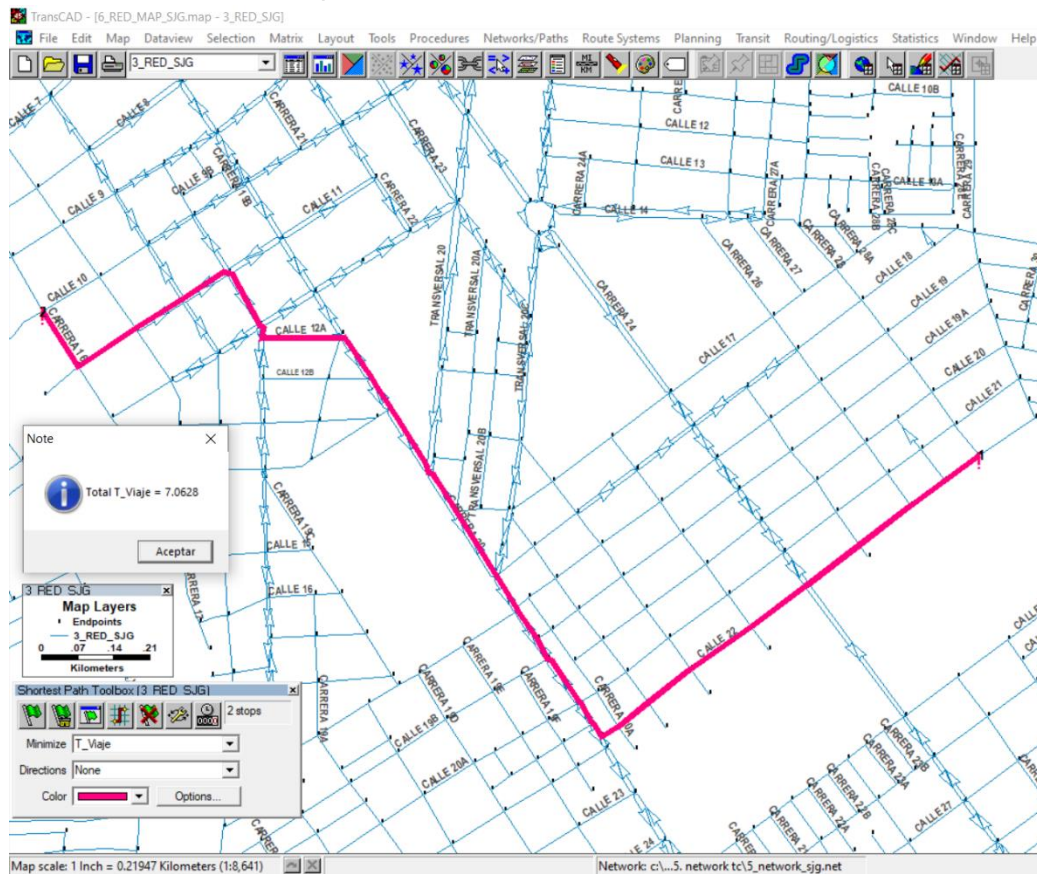
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-11: Ruta mínima 6 por Google Maps.



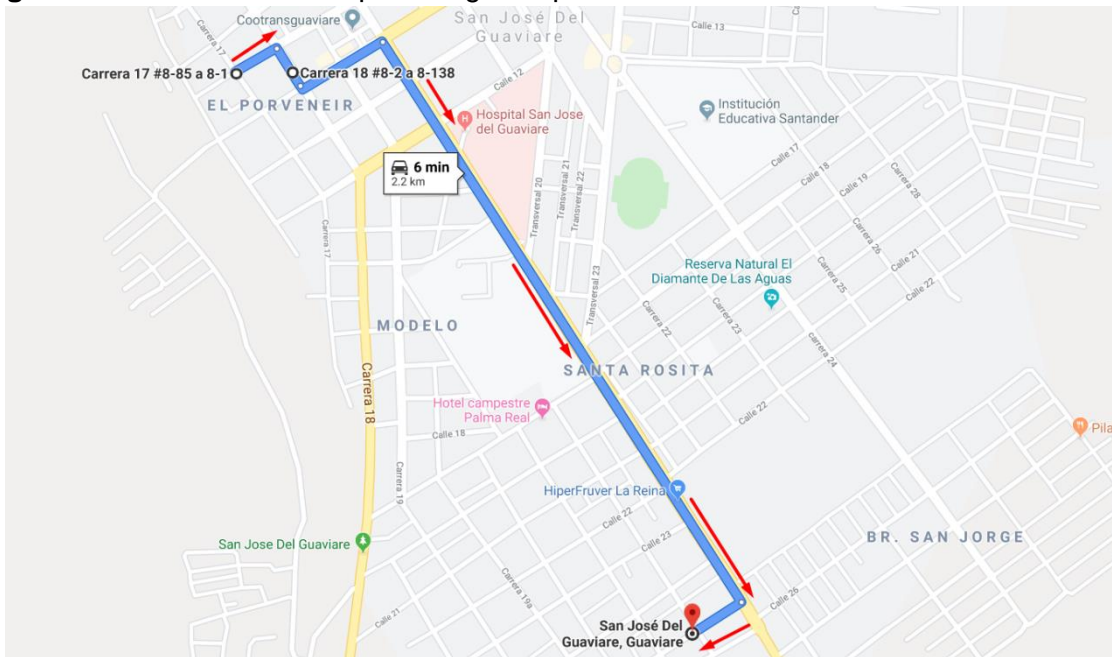
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-12: Ruta mínima 6 por TransCAD.



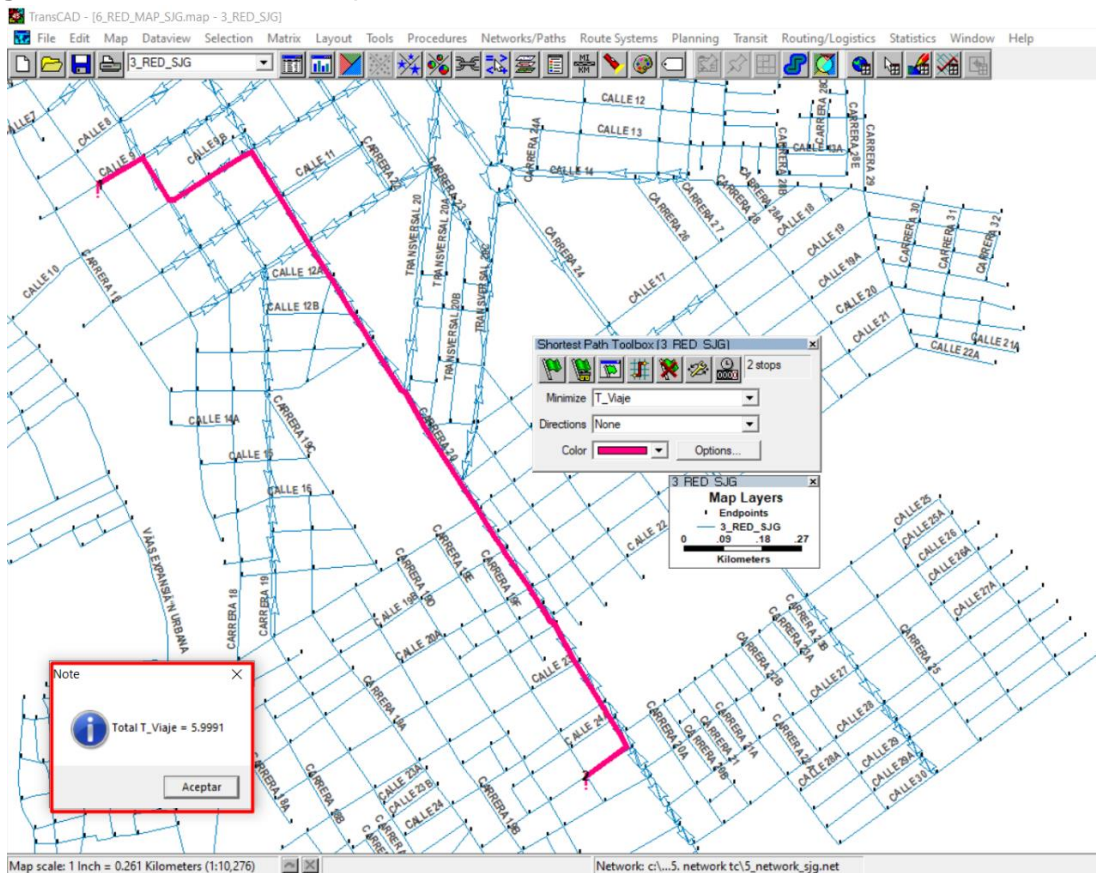
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-13: Ruta mínima 7 por Google Maps



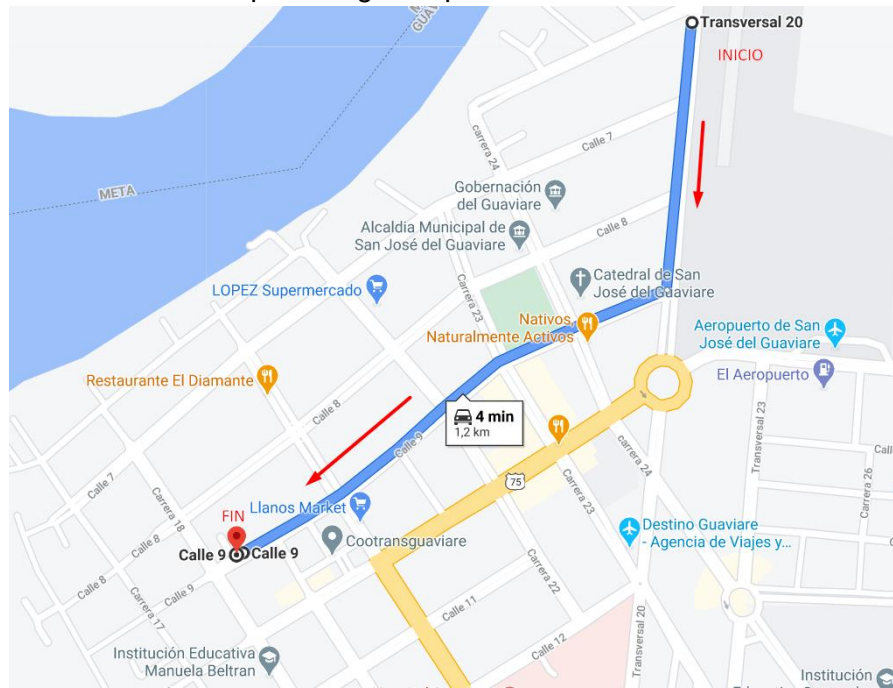
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-14: Ruta mínima 7 por TransCAD.



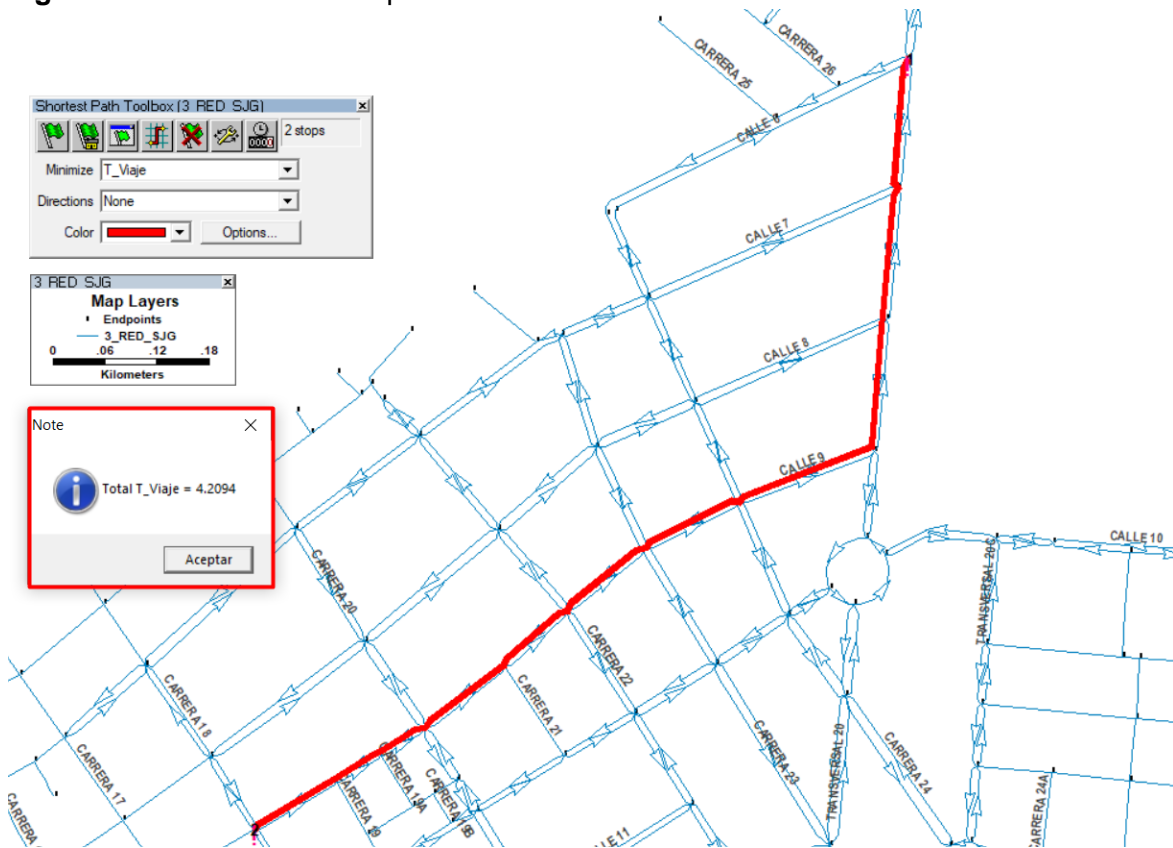
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-15: Ruta mínima 8 por Google Maps



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

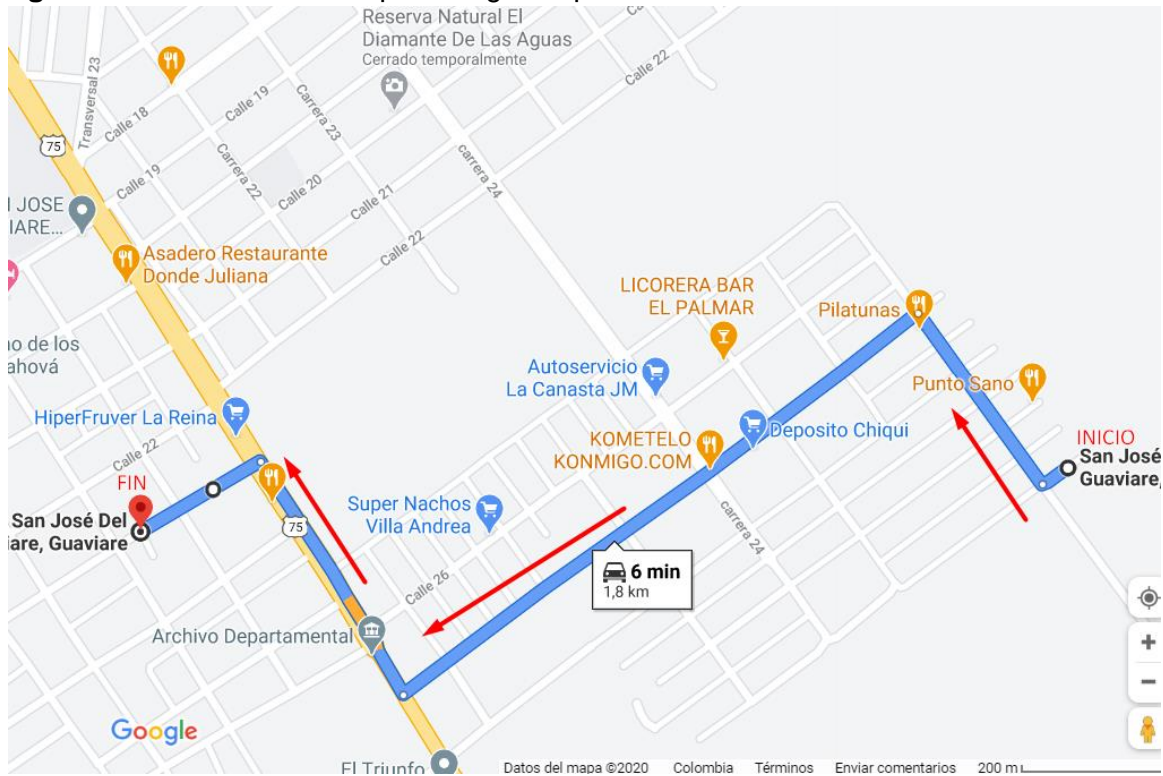
Figura D-16: Ruta mínima 8 por TransCAD.



Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

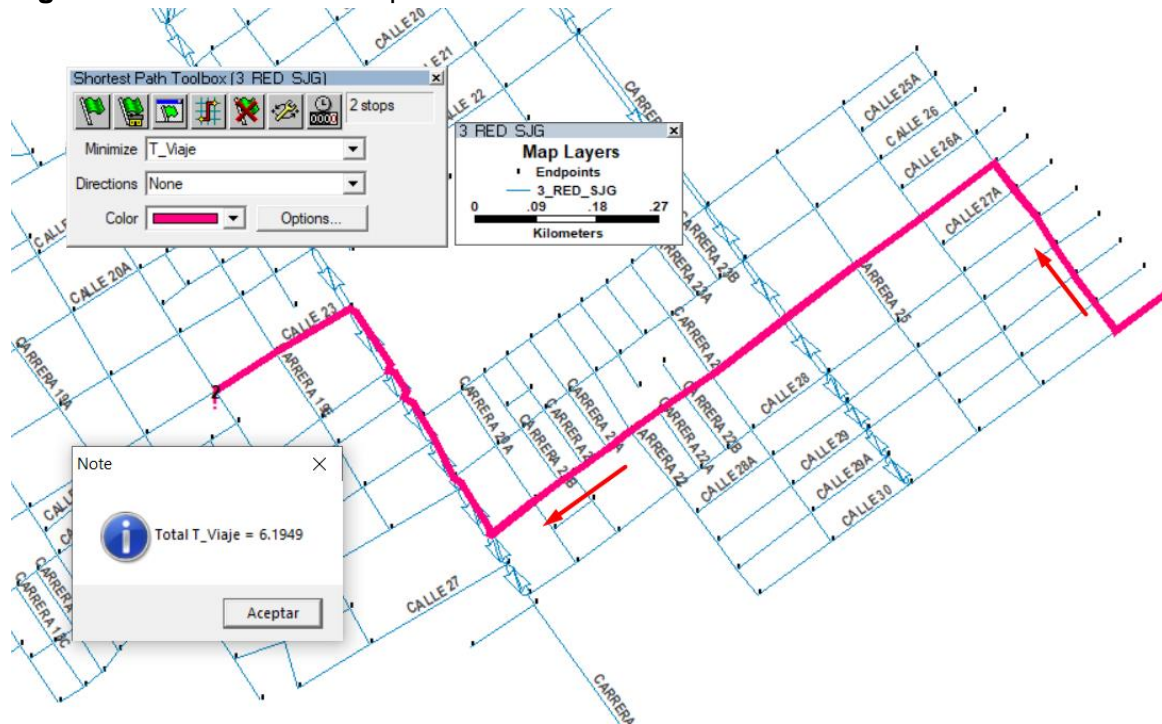


Figura D-17: Ruta mínima 9 por Google Maps.



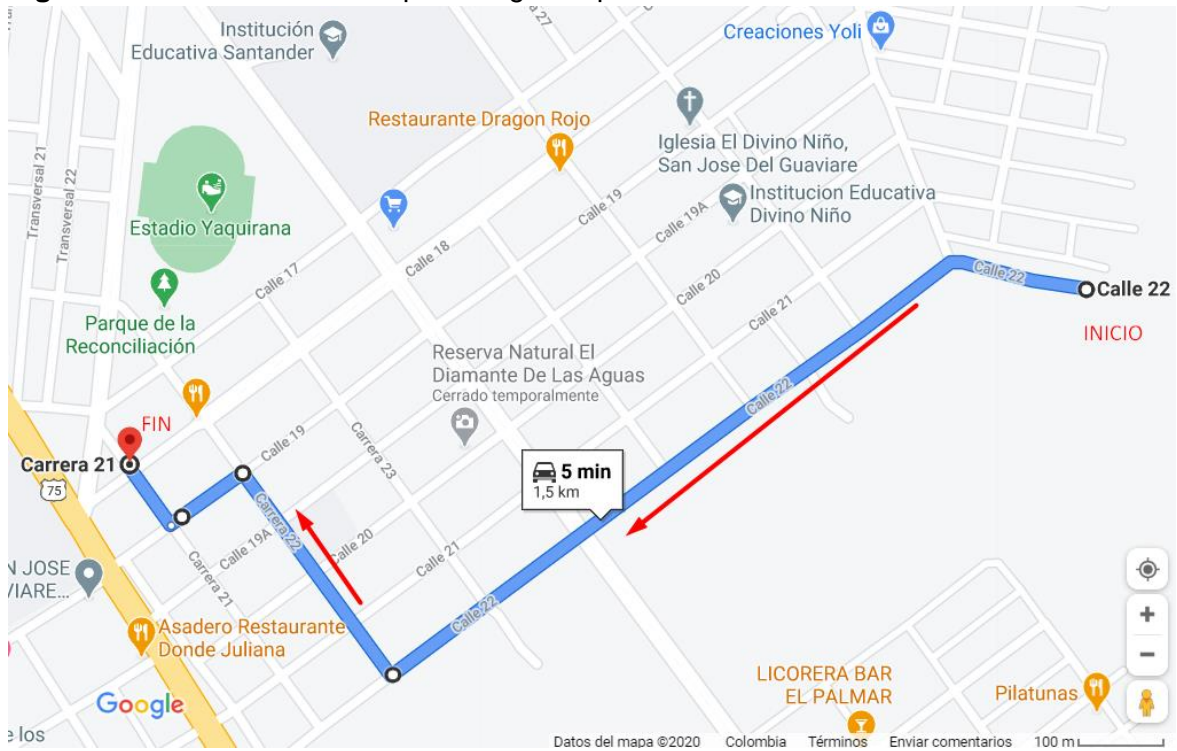
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-18: Ruta mínima 9 por TransCAD.



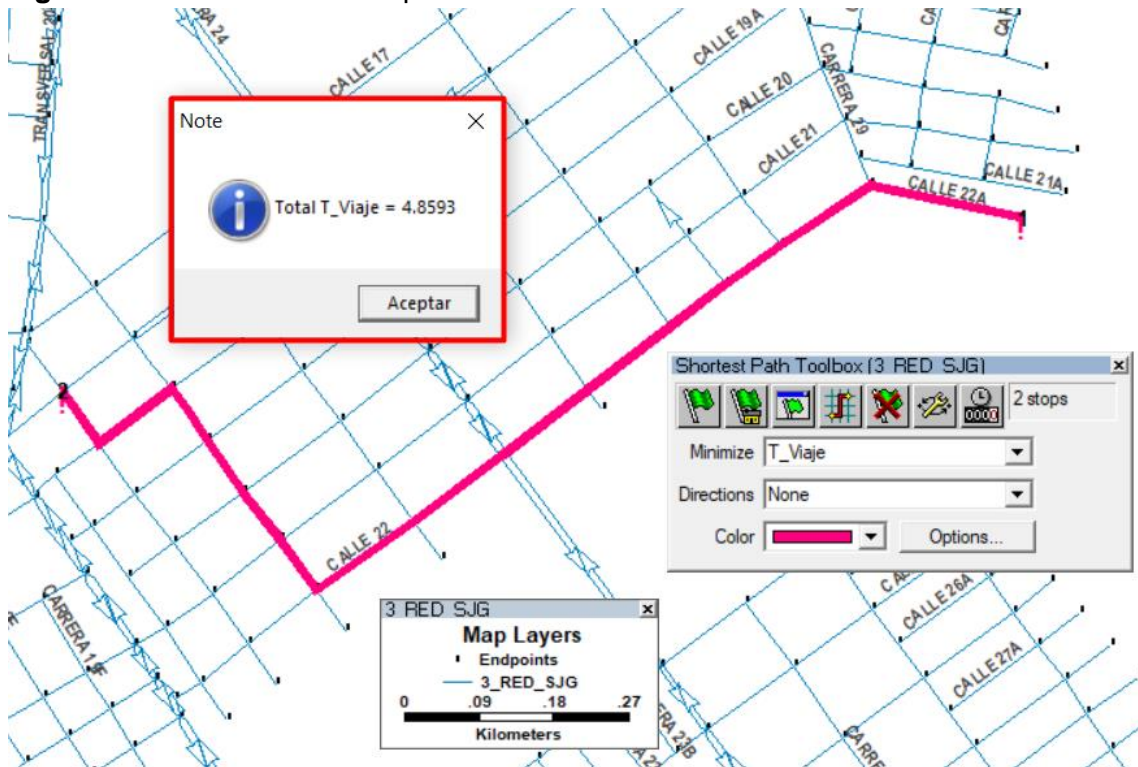
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-19: Ruta mínima 10 por Google Maps.



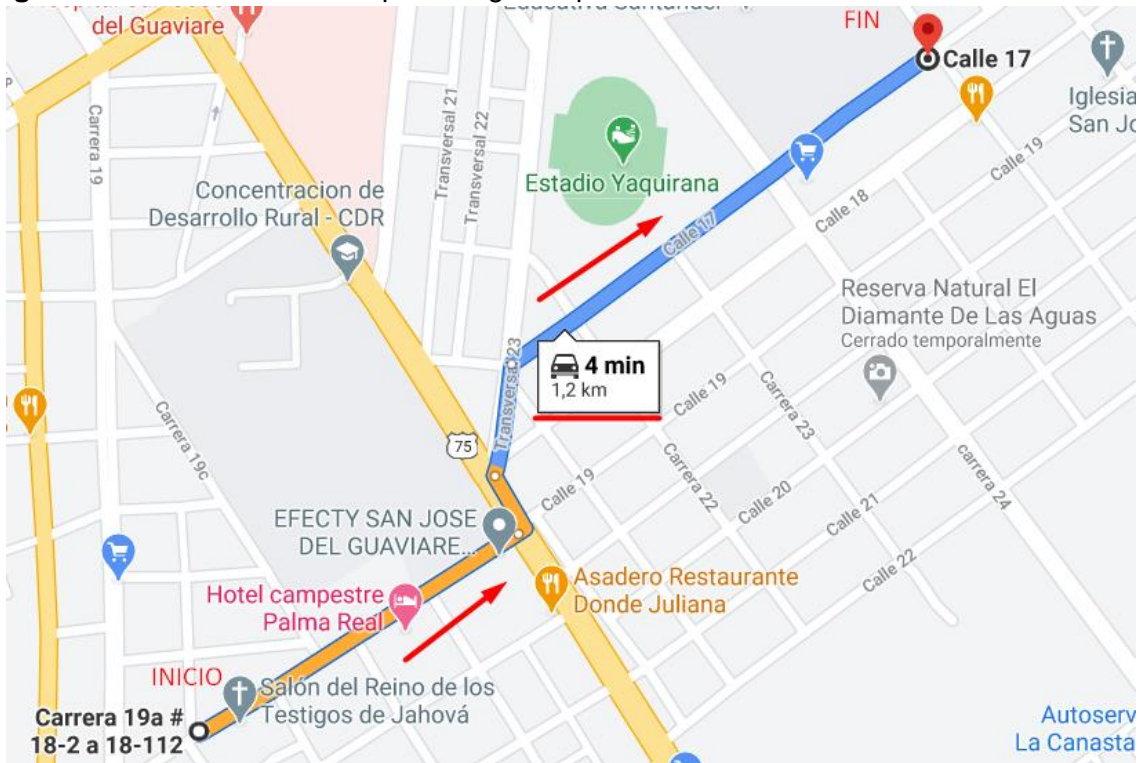
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-20: Ruta mínima 10 por TransCAD.



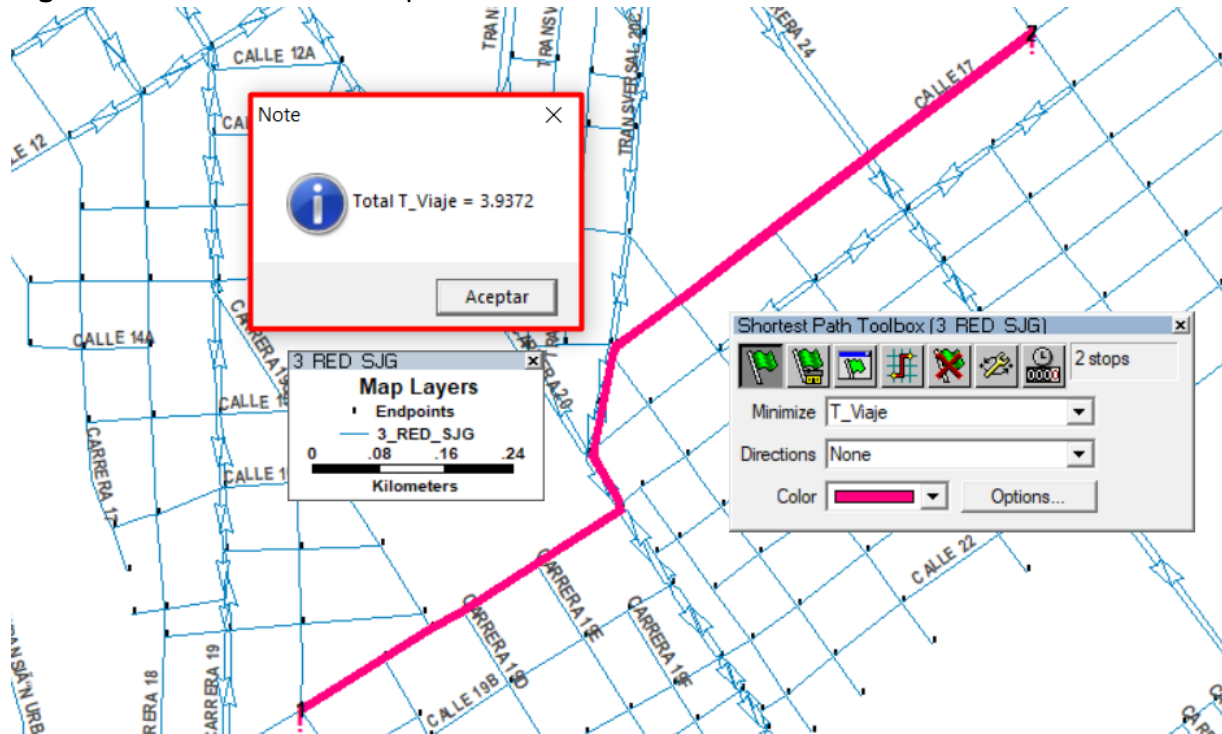
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-21: Ruta mínima 11 por Google Maps.



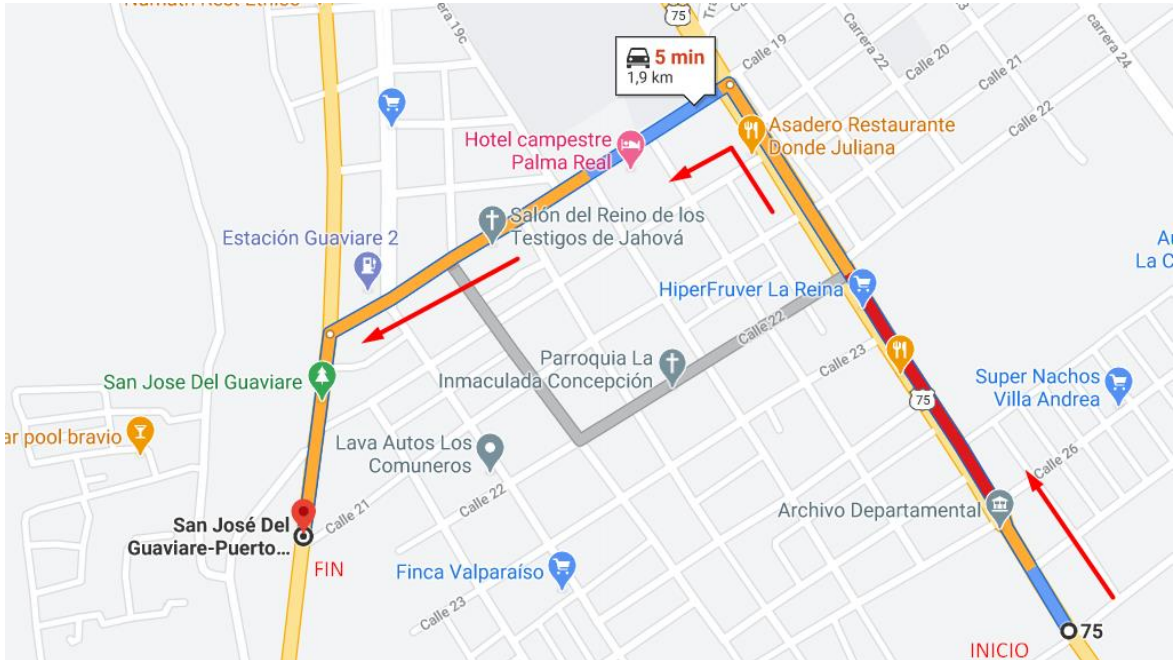
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-22: Ruta mínima 11 por TransCAD.



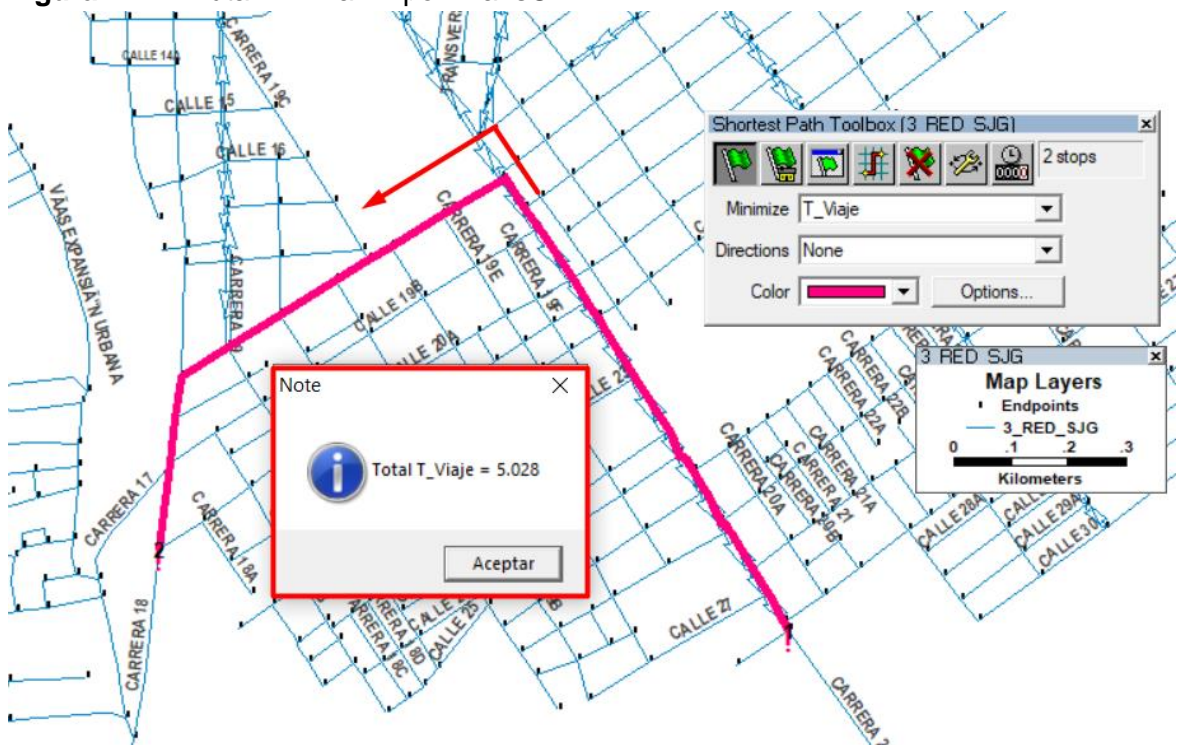
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

**Figura D-23:** Ruta mínima 12 por Google Maps.



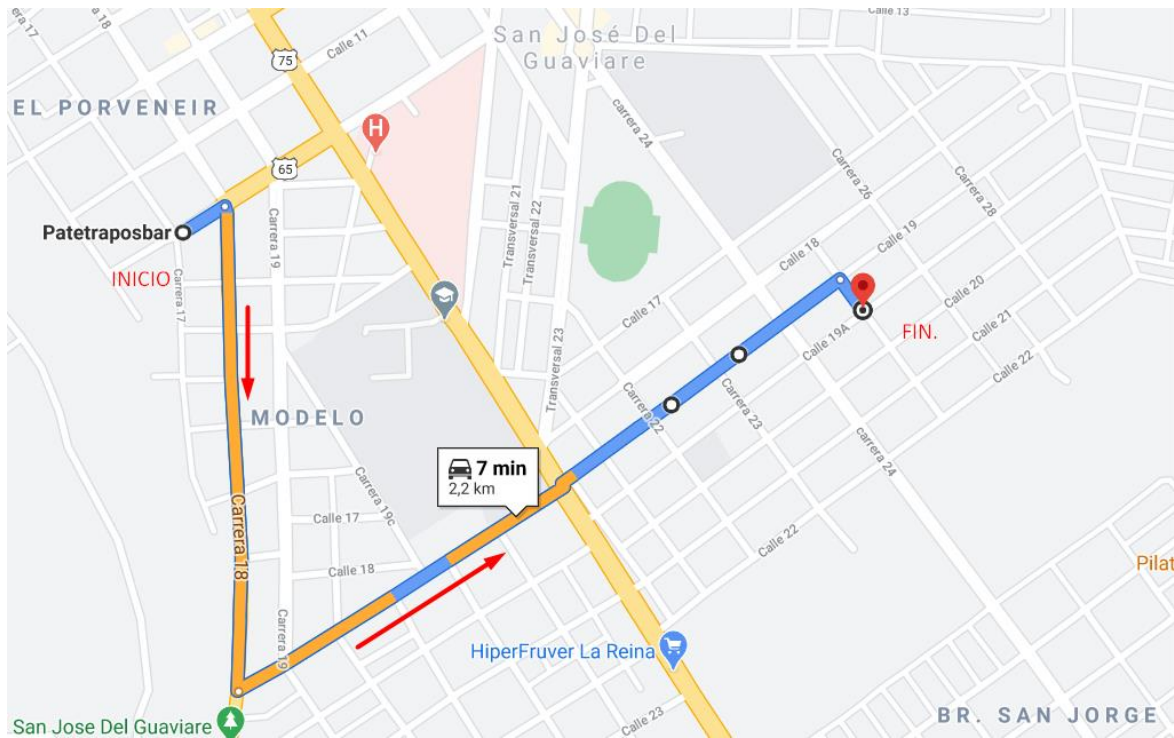
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

**Figura D-24:** Ruta mínima 12 por TransCAD.



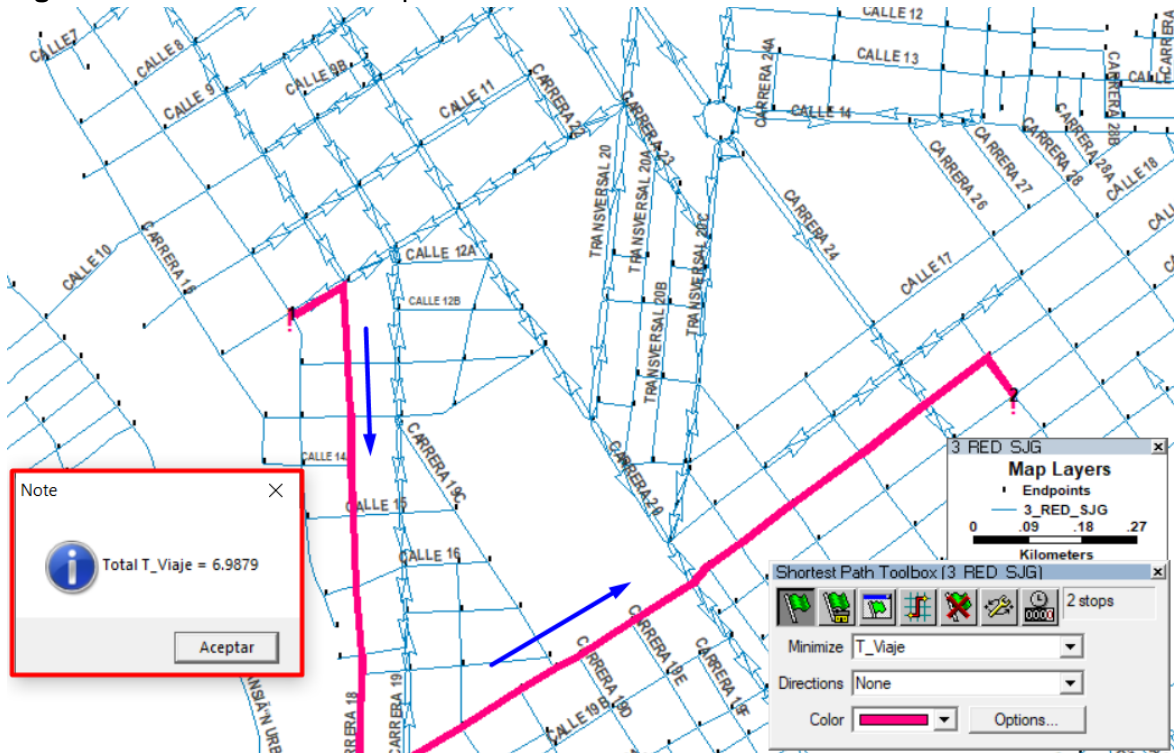
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-25: Ruta mínima 13 por Google Maps.



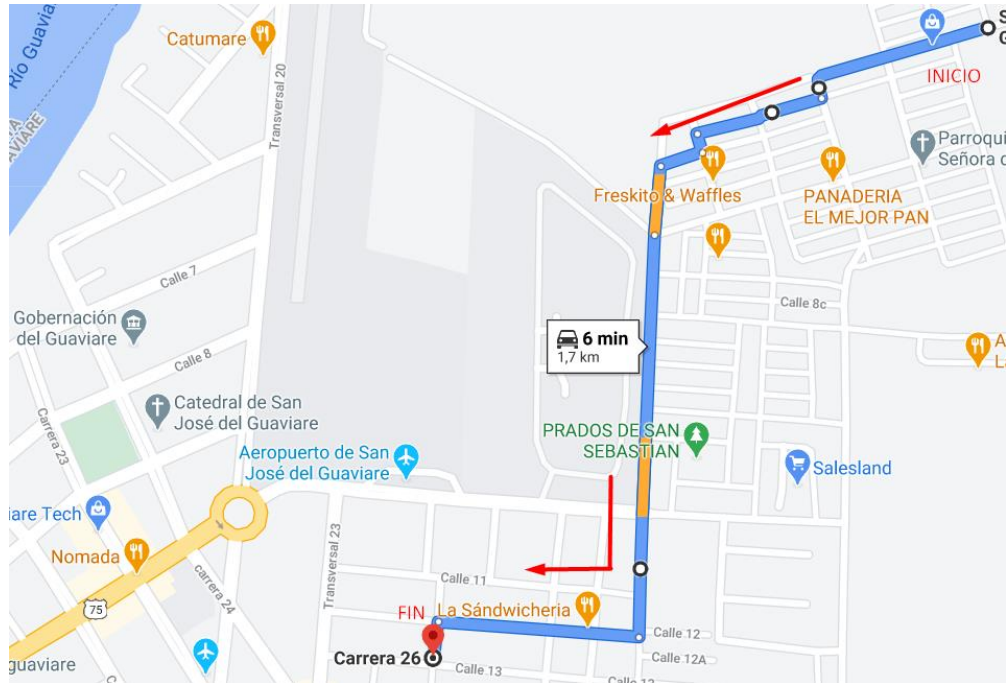
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-26: Ruta mínima 13 por TransCAD.



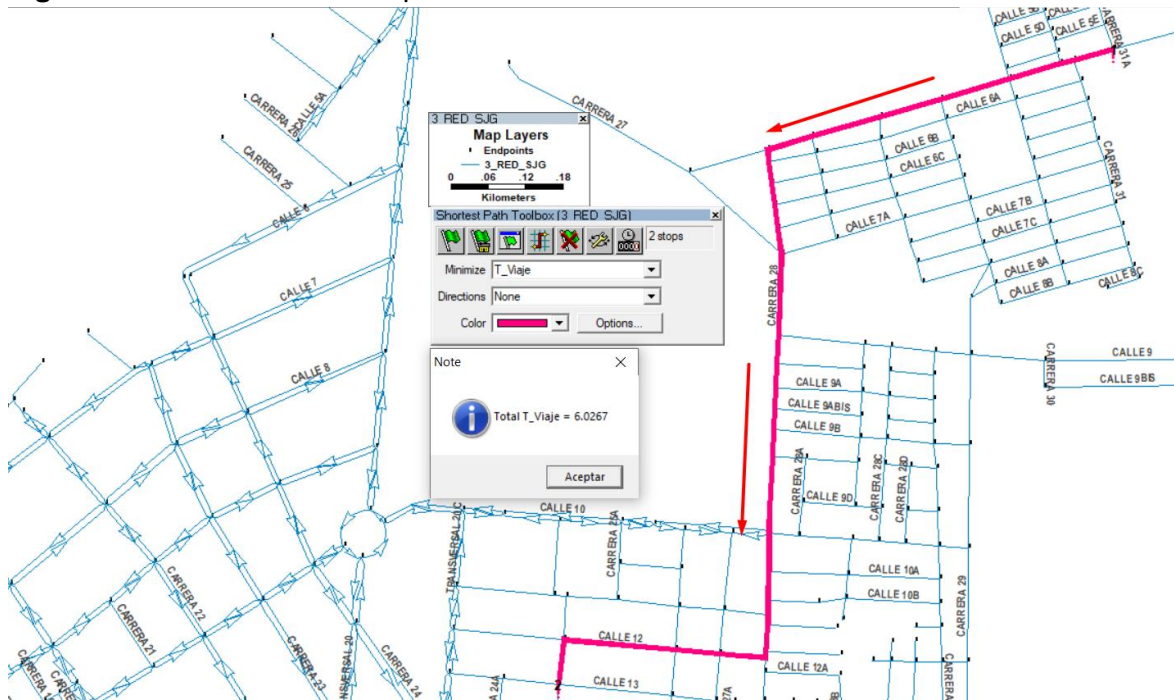
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-27: Ruta mínima 14 por Google Maps.



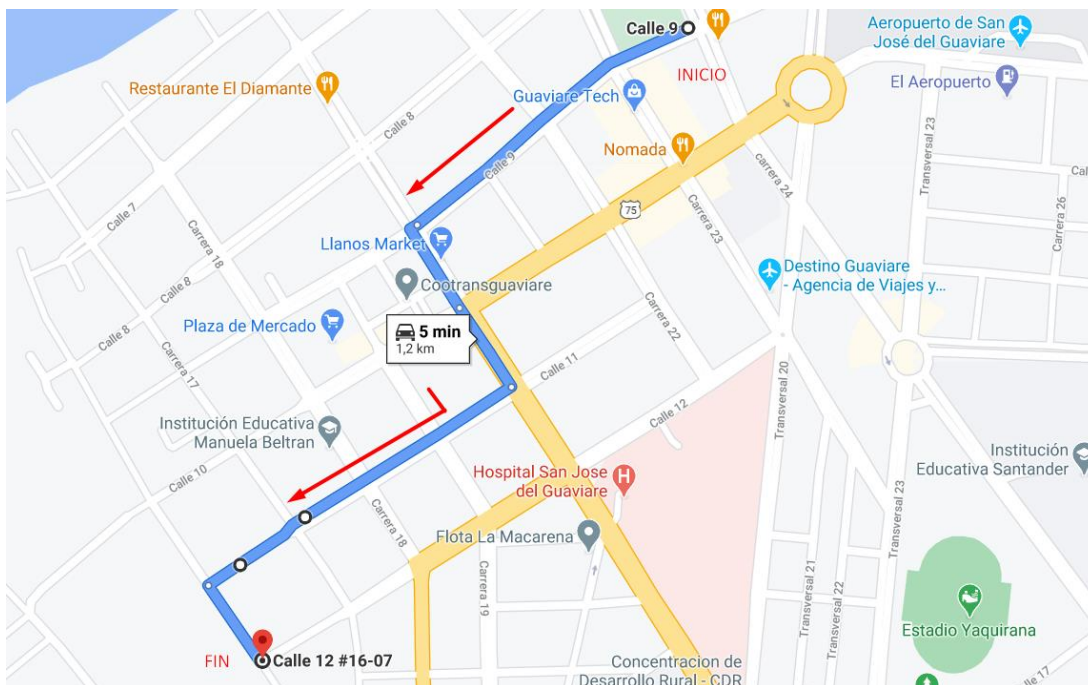
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-28: Ruta mínima 14 por TransCAD.



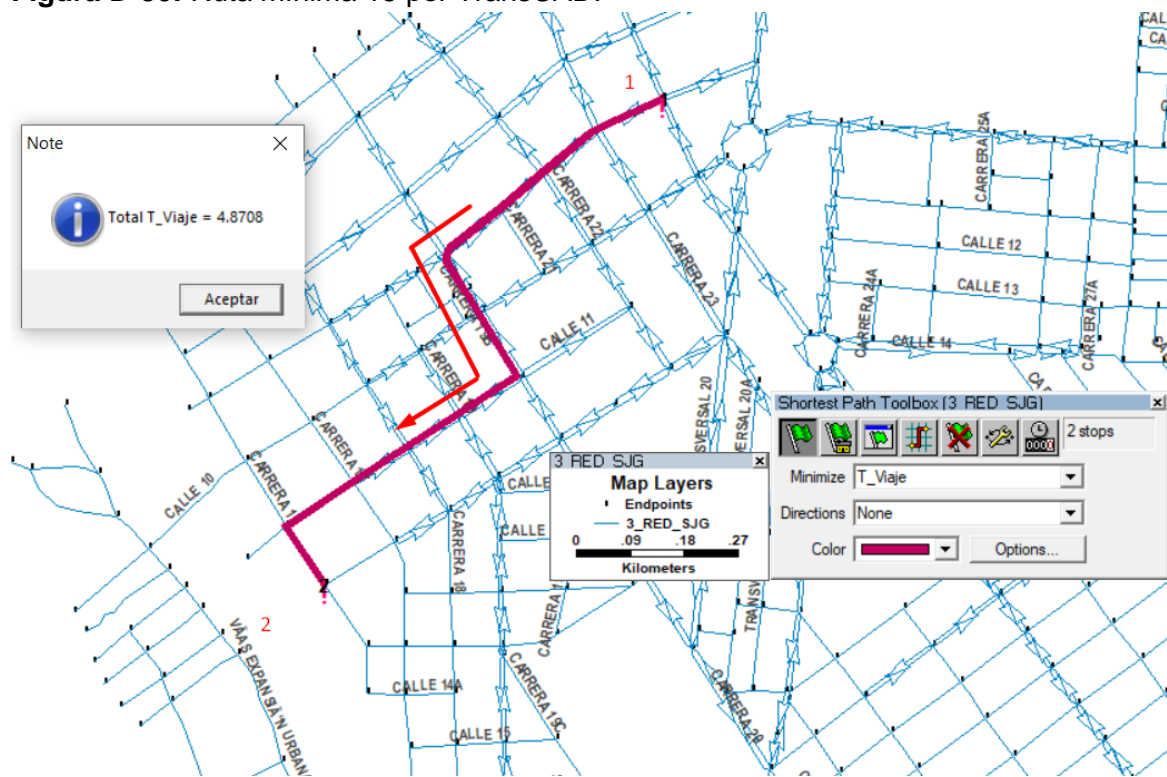
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-29: Ruta mínima 15 por Google Maps.



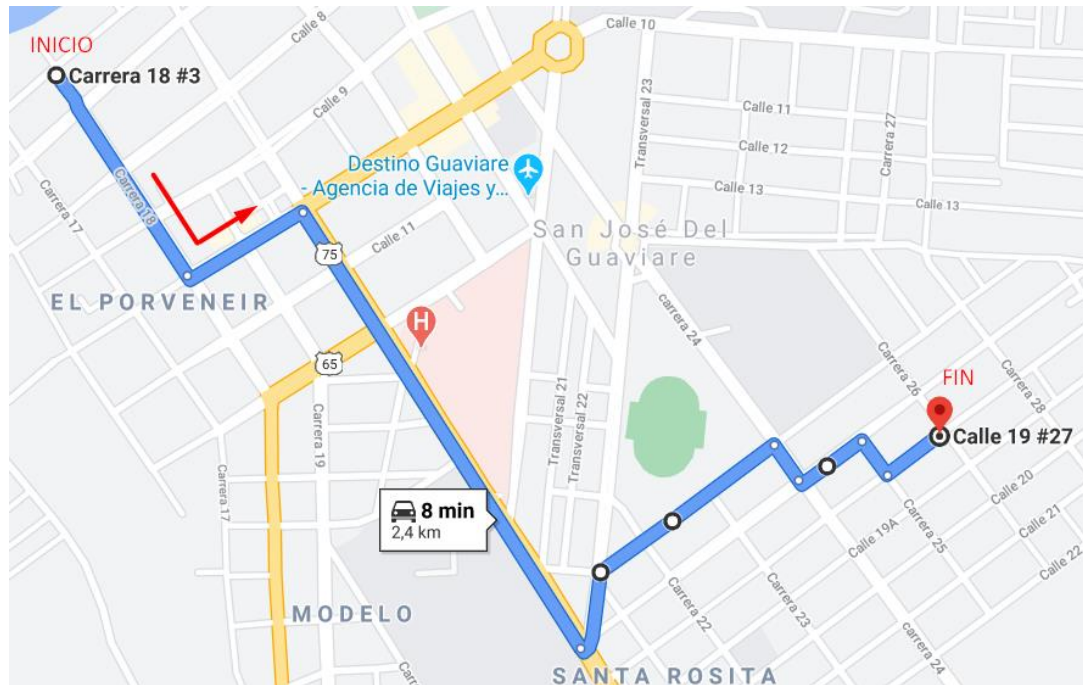
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-30: Ruta mínima 15 por TransCAD.



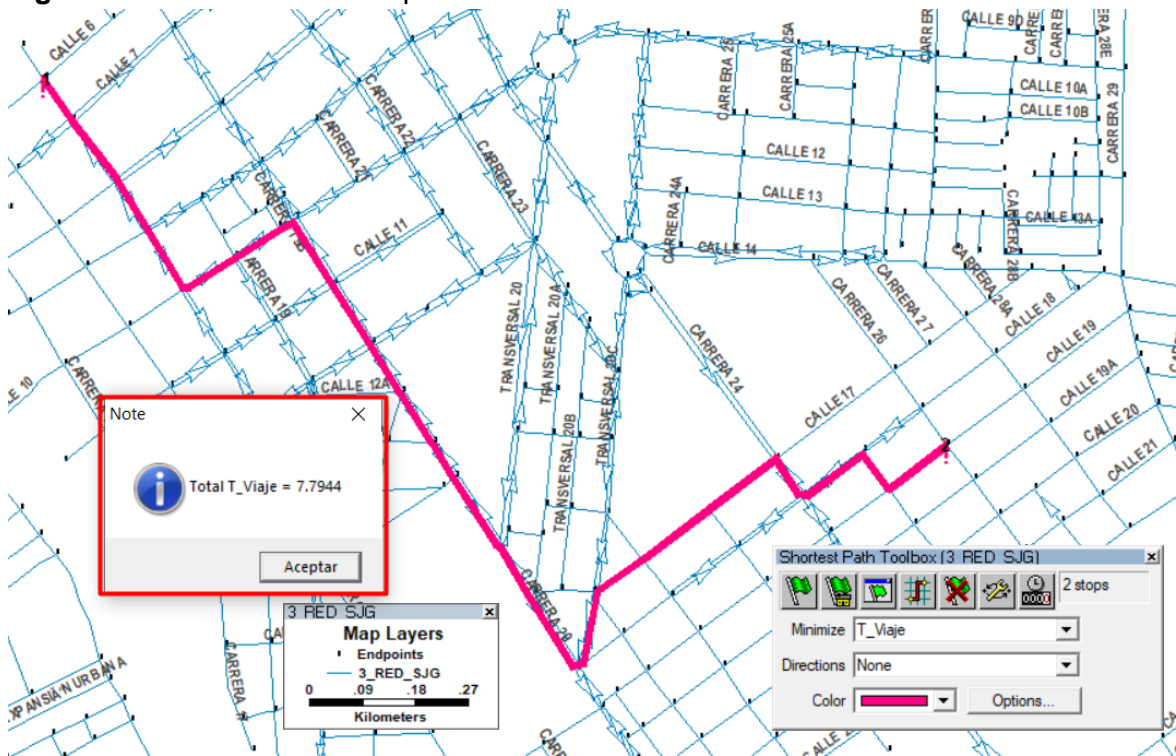
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-31: Ruta mínima 16 por Google Maps.



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-32: Ruta mínima 16 por TransCAD.

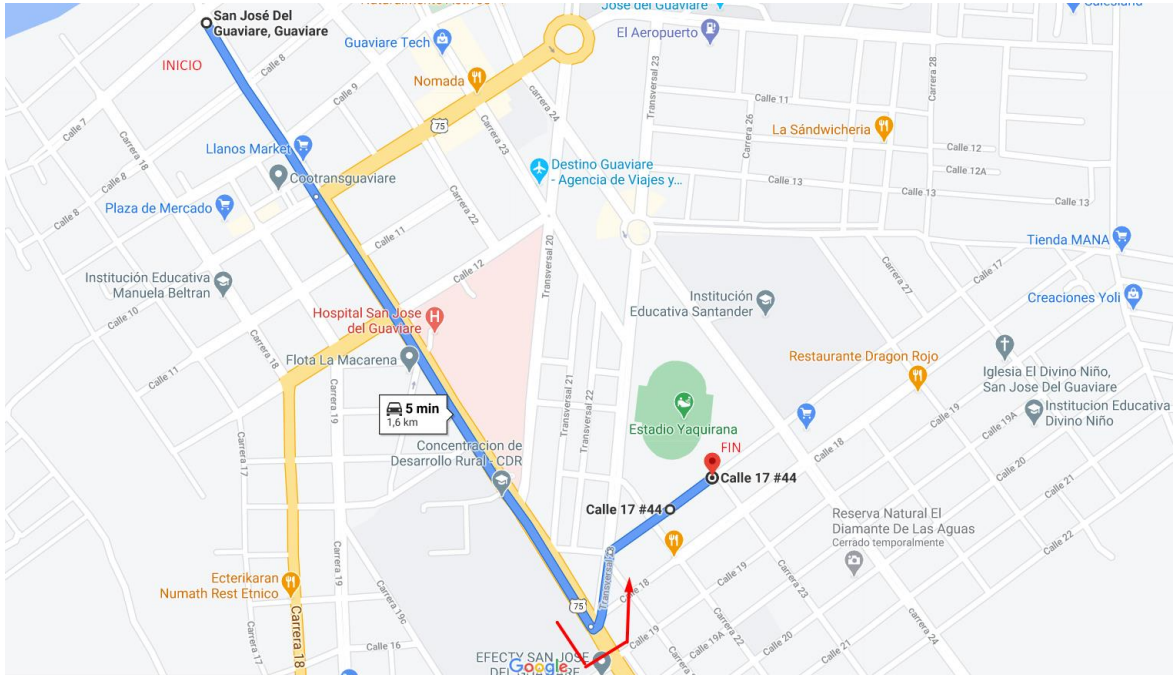


Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.



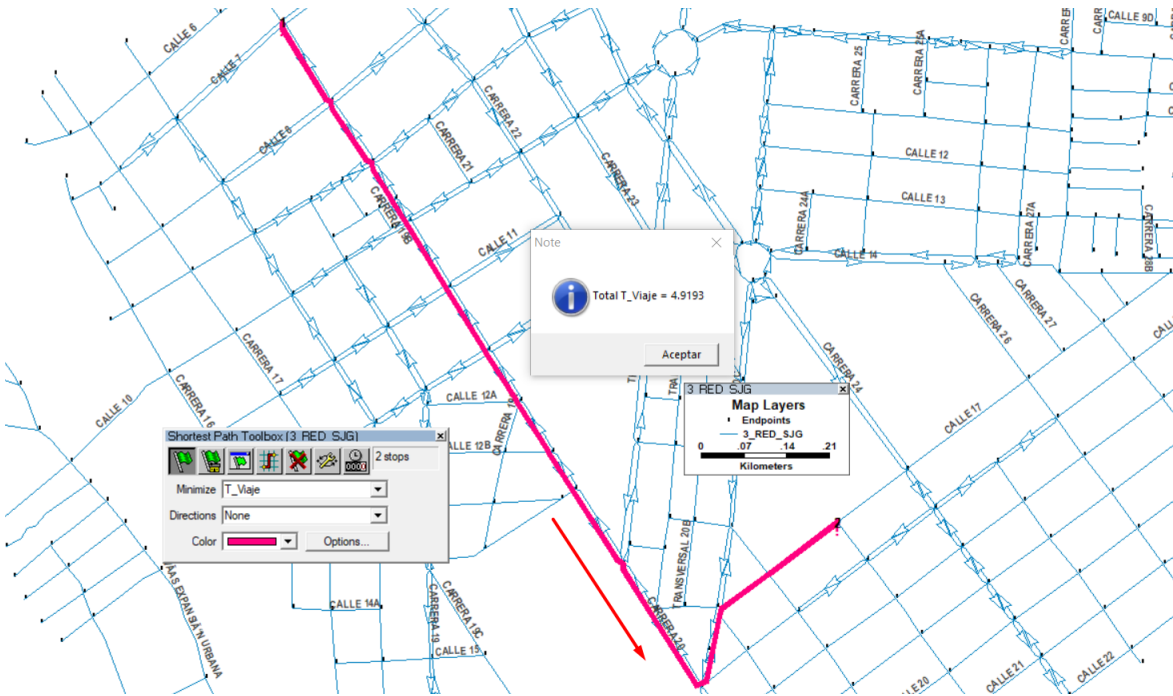


Figura D-35: Ruta mínima 18 por Google Maps.



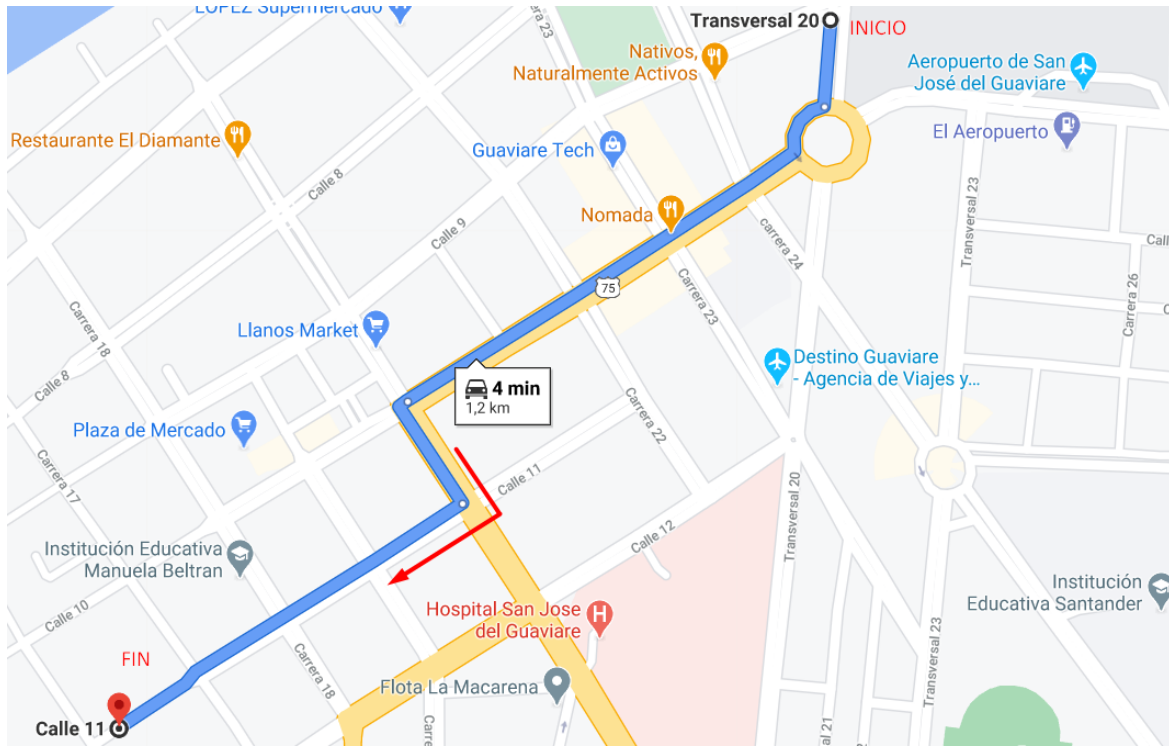
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-36: Ruta mínima 18 por TransCAD.



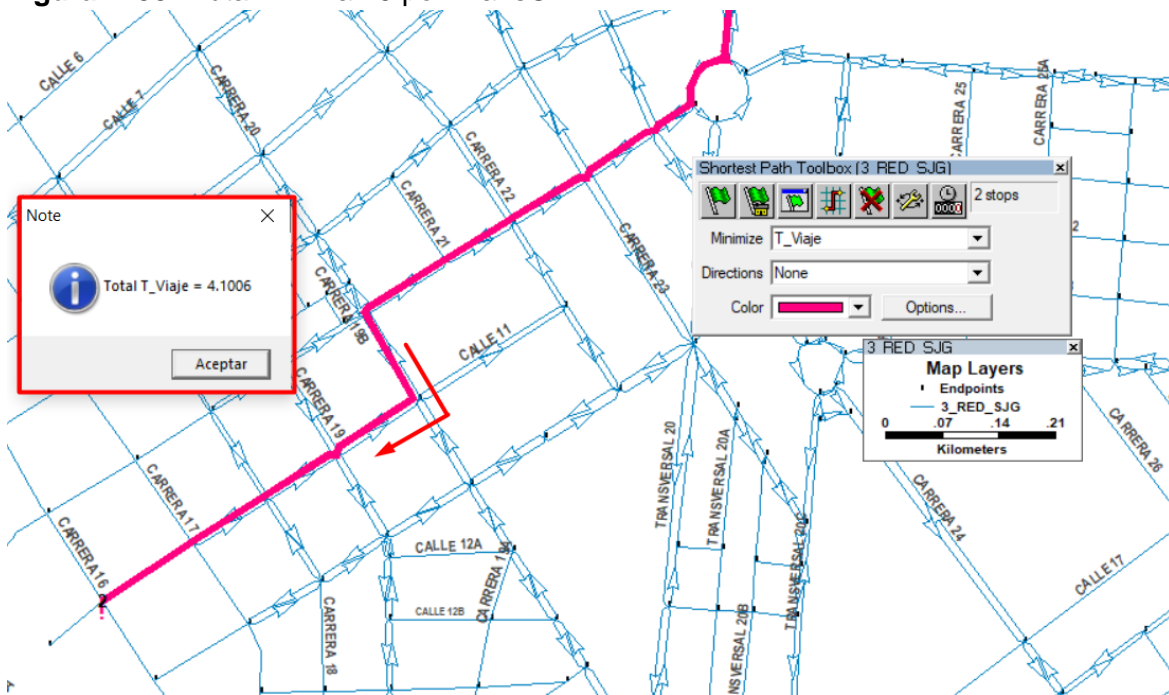
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-37: Ruta mínima 19 por Google Maps.



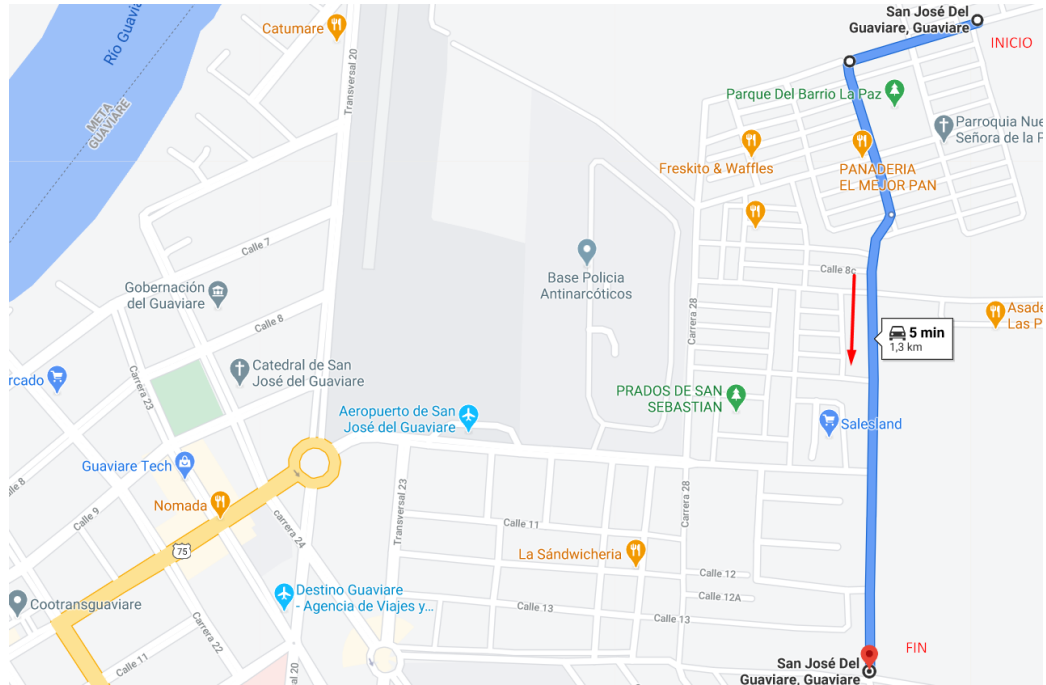
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-38: Ruta mínima 19 por TransCAD.



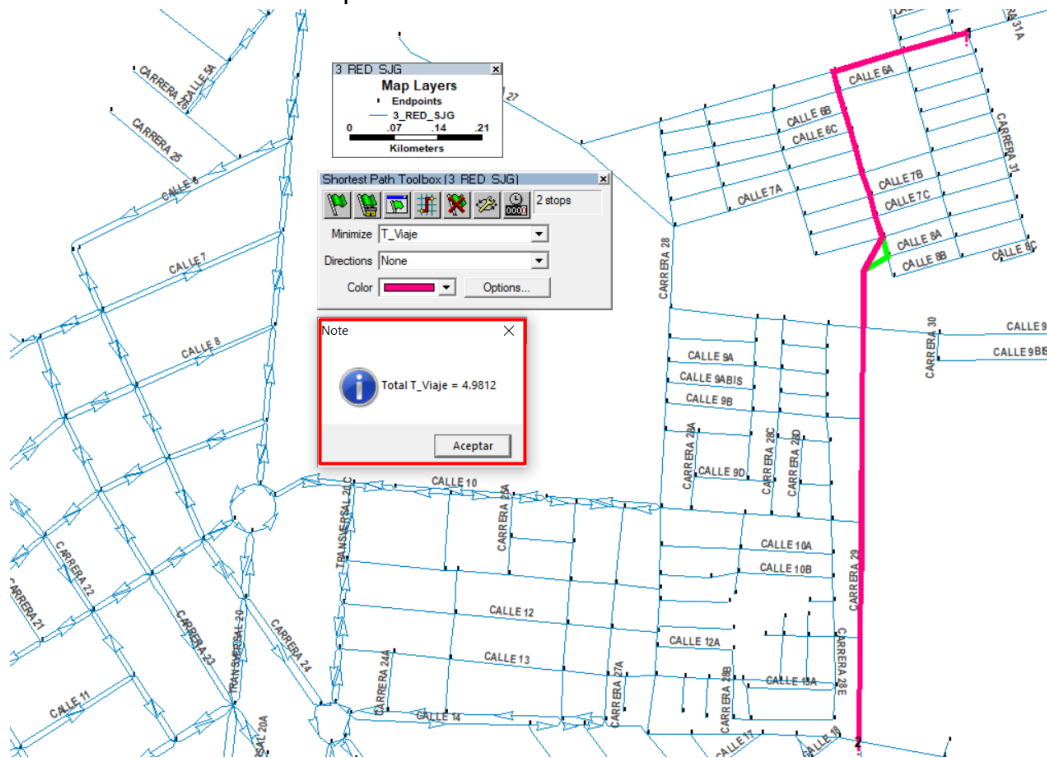
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-39: Ruta mínima 20 por Google Maps.



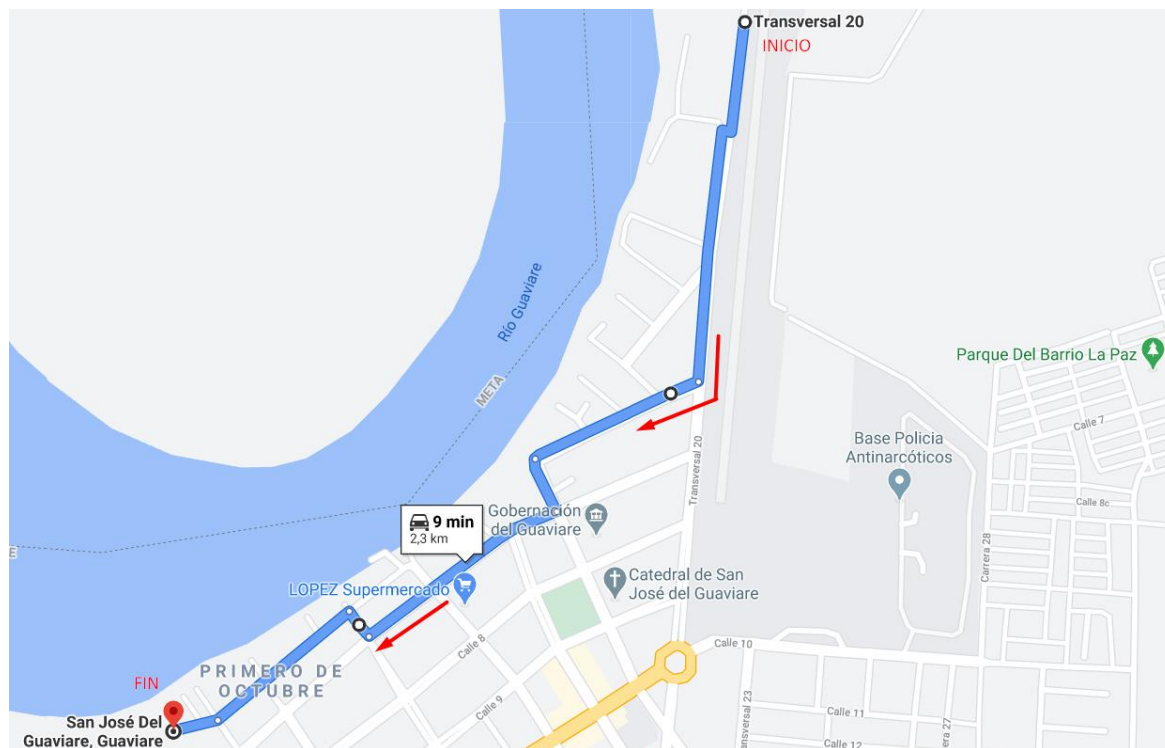
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-40: Ruta mínima 20 por TransCAD.



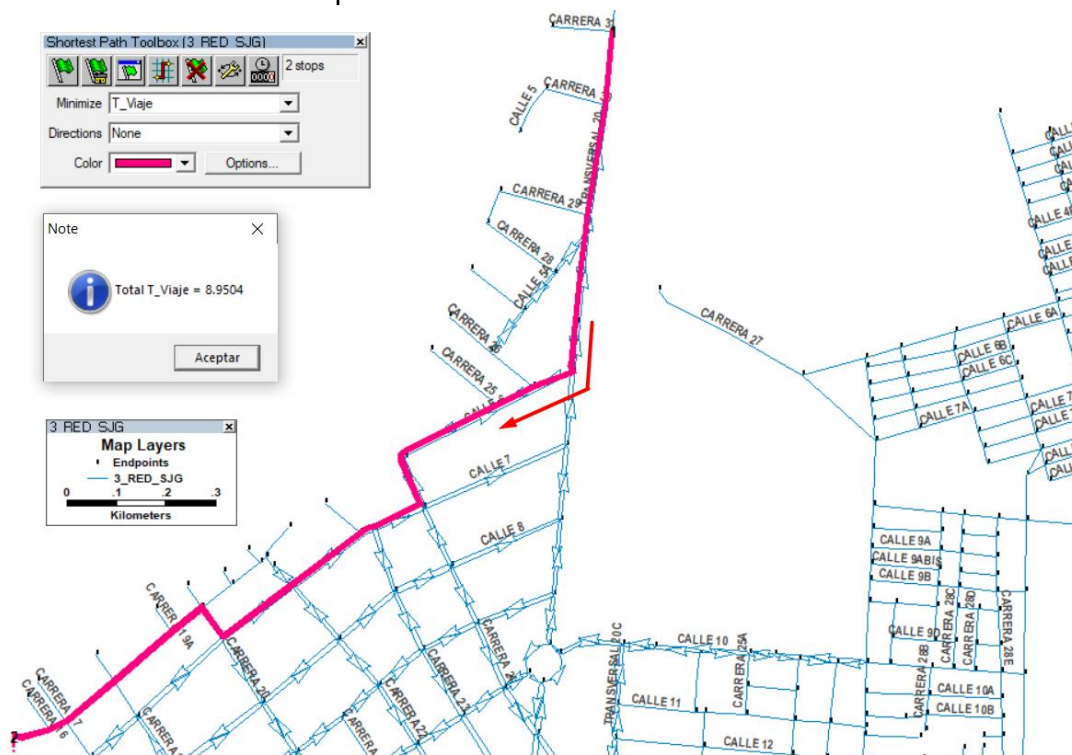
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-41: Ruta mínima 21 por Google Maps.



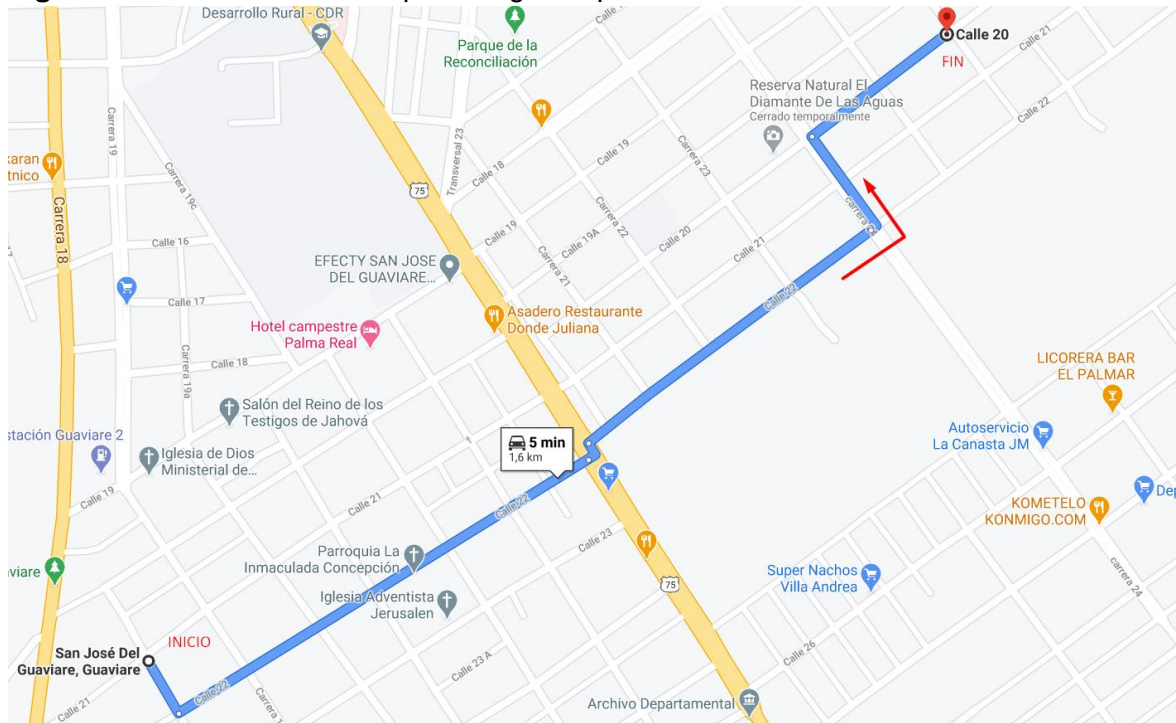
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-42: Ruta mínima 21 por TransCAD.



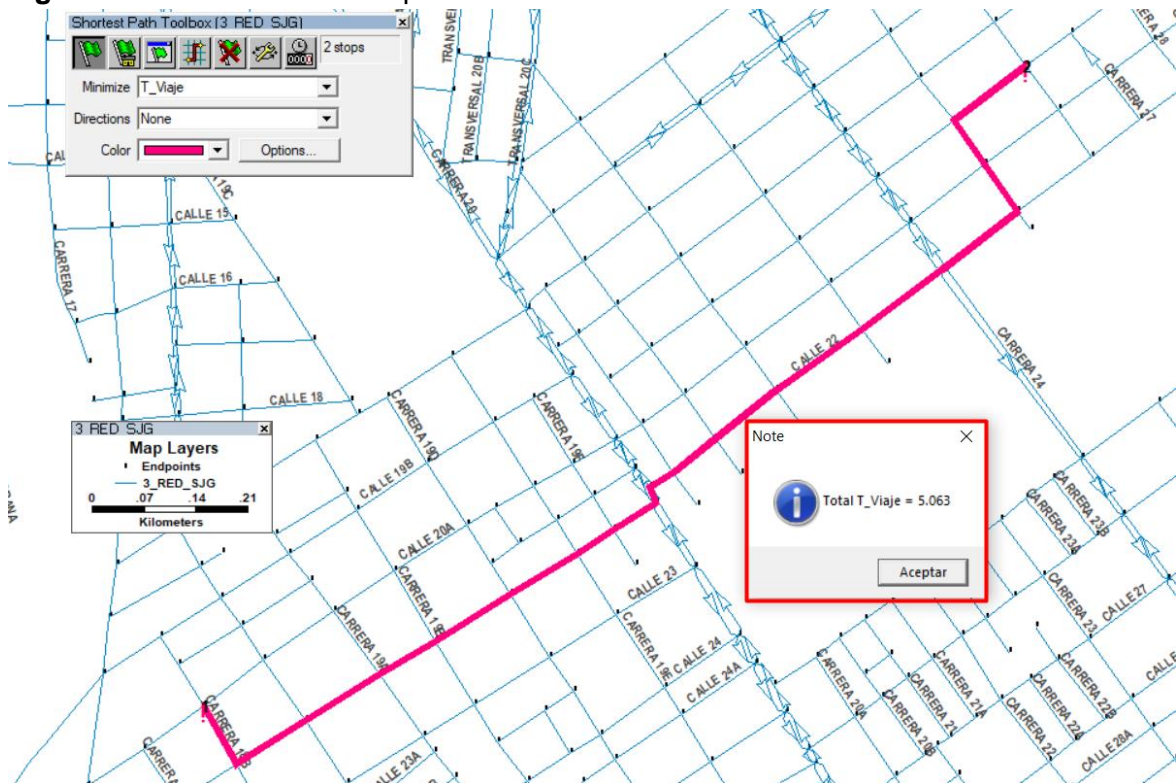
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-43: Ruta mínima 22 por Google Maps.



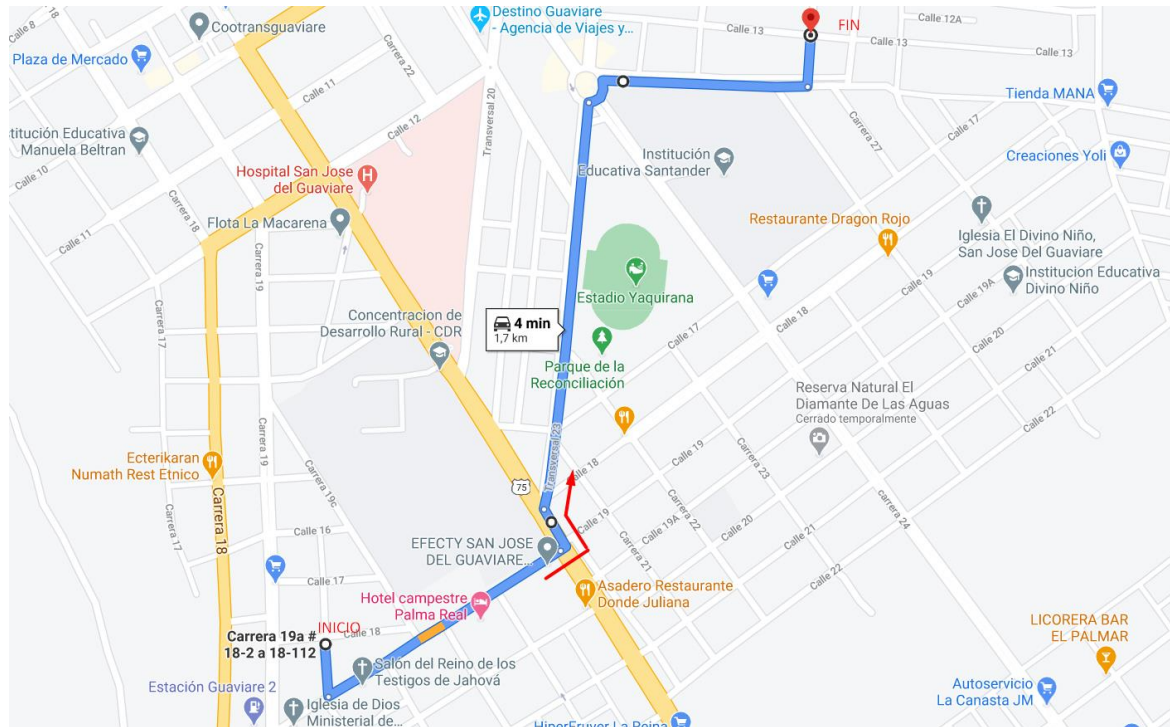
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-44: Ruta mínima 22 por TransCAD.



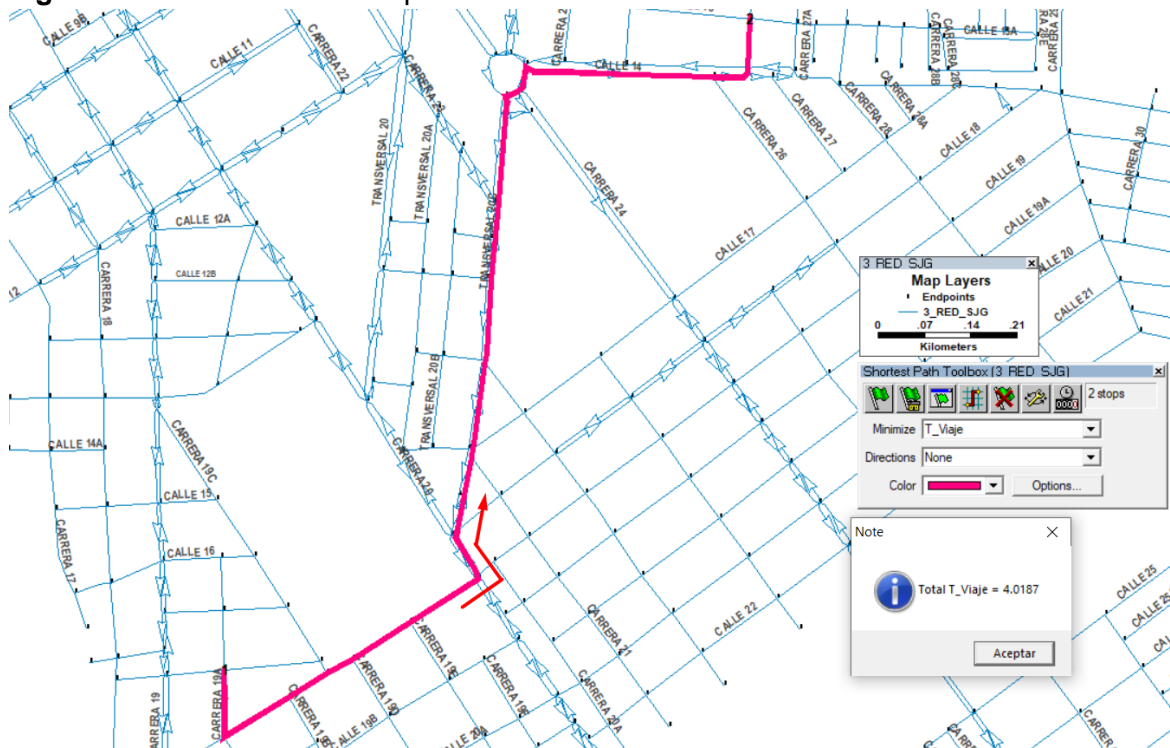
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-45: Ruta mínima 23 por Google Maps.



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-46: Ruta mínima 23 por TransCAD.

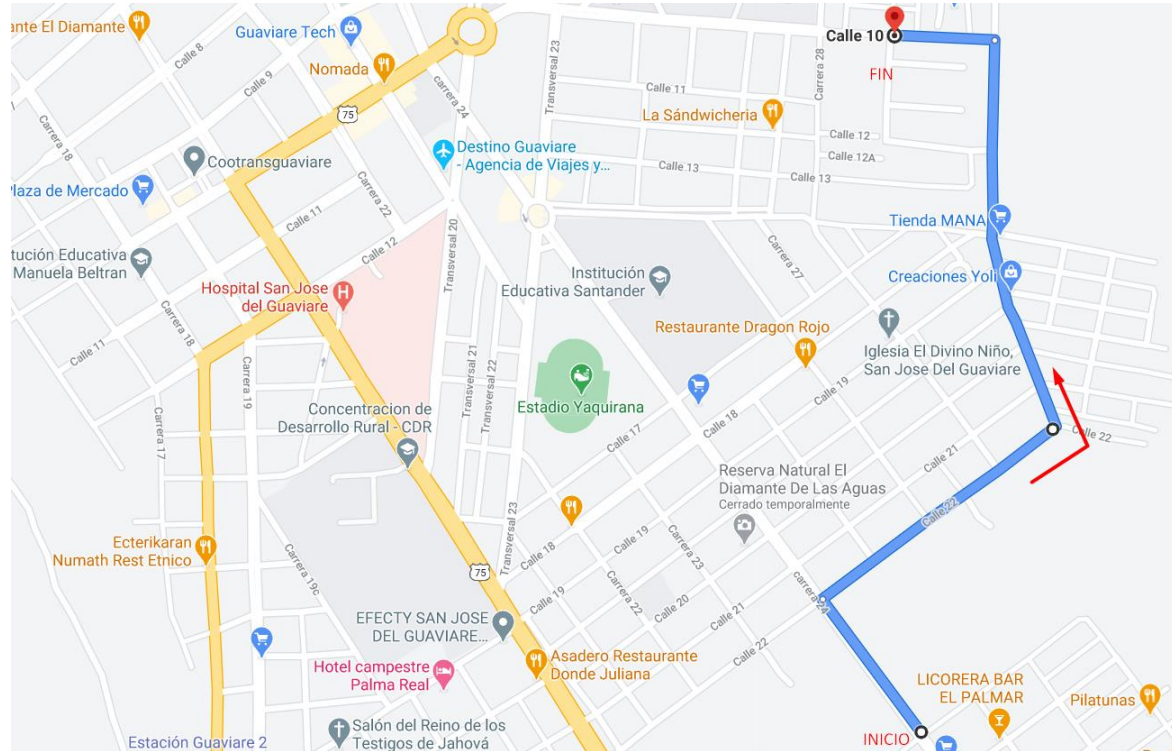


Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.





Figura D-49: Ruta mínima 25 por Google Maps.



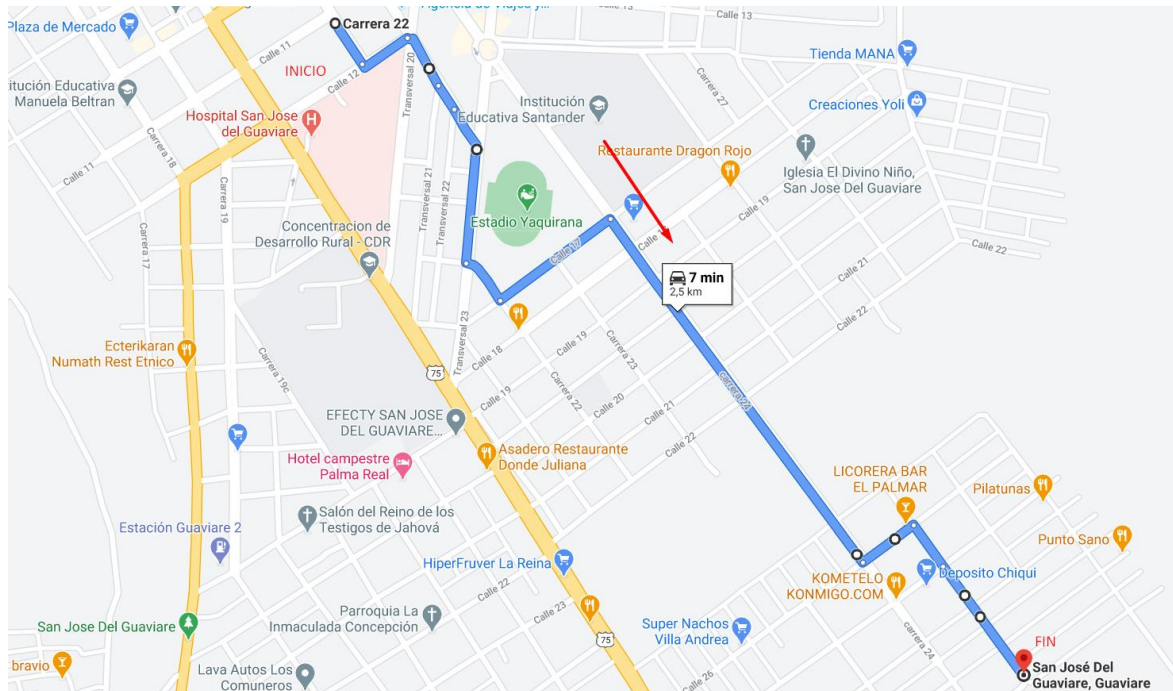
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-50: Ruta mínima 25 por TransCAD.



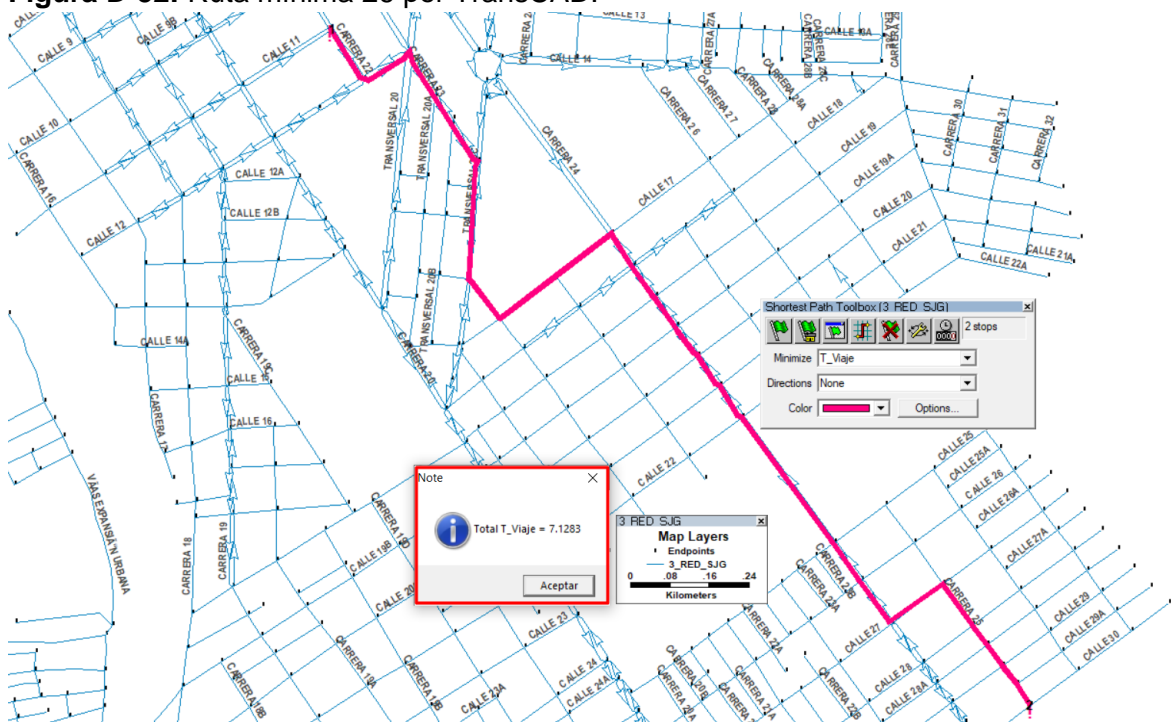
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-51: Ruta mínima 26 por Google Maps.



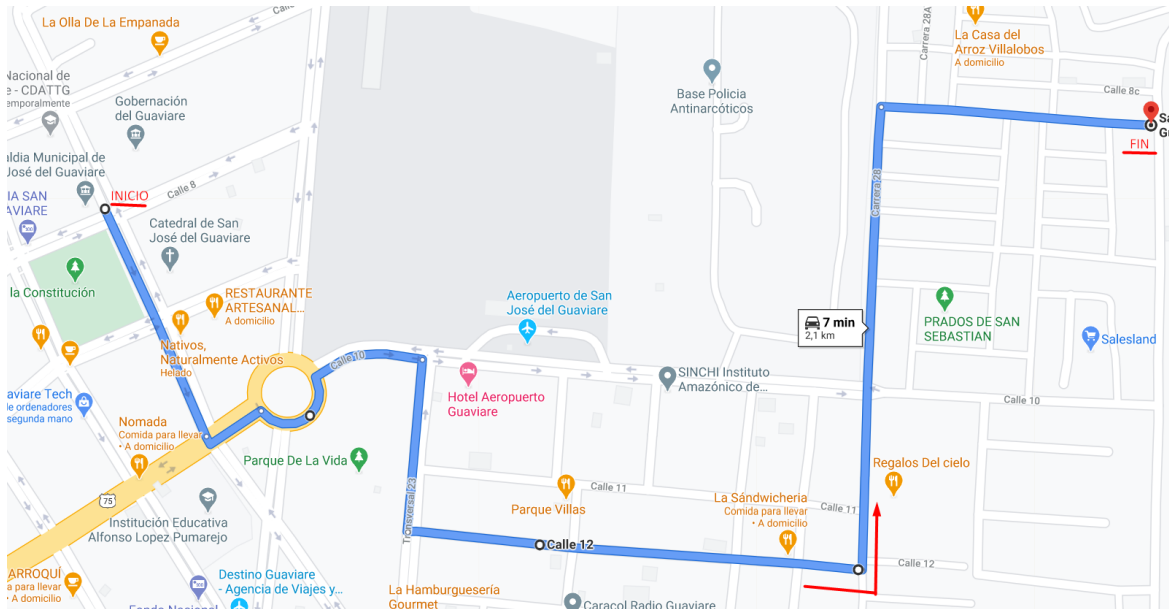
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-52: Ruta mínima 26 por TransCAD.



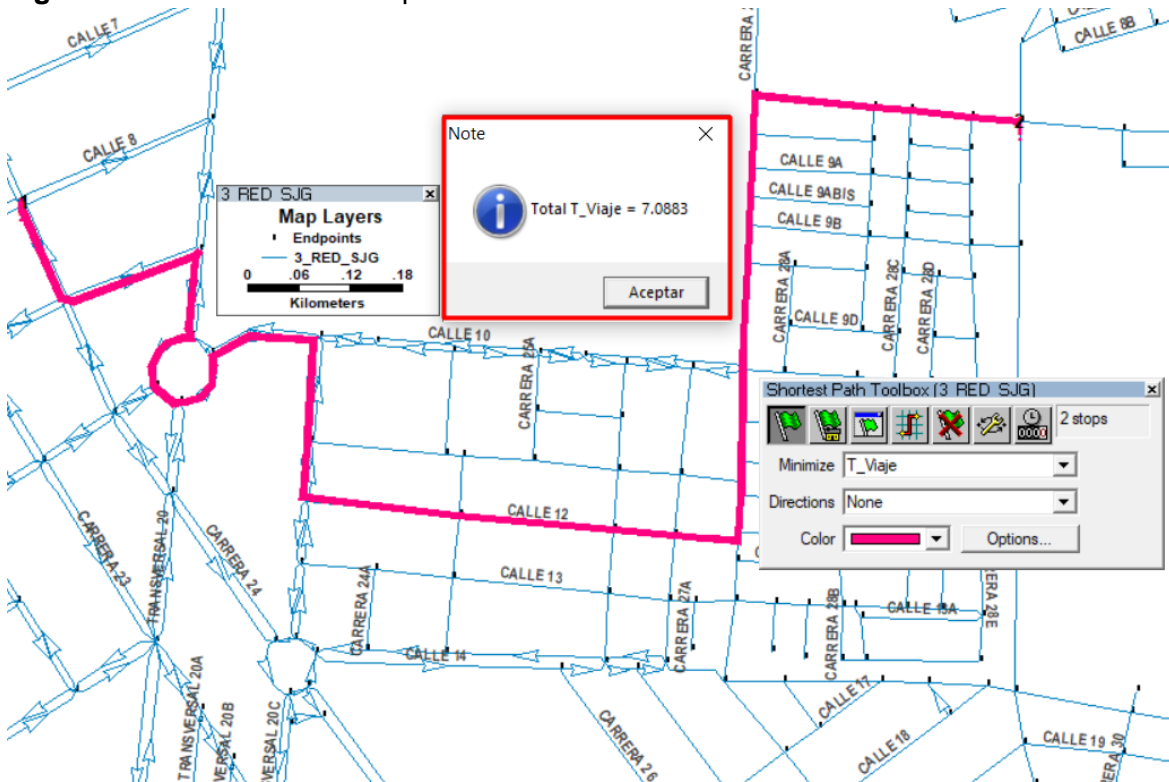
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-53: Ruta mínima 27 por Google Maps.



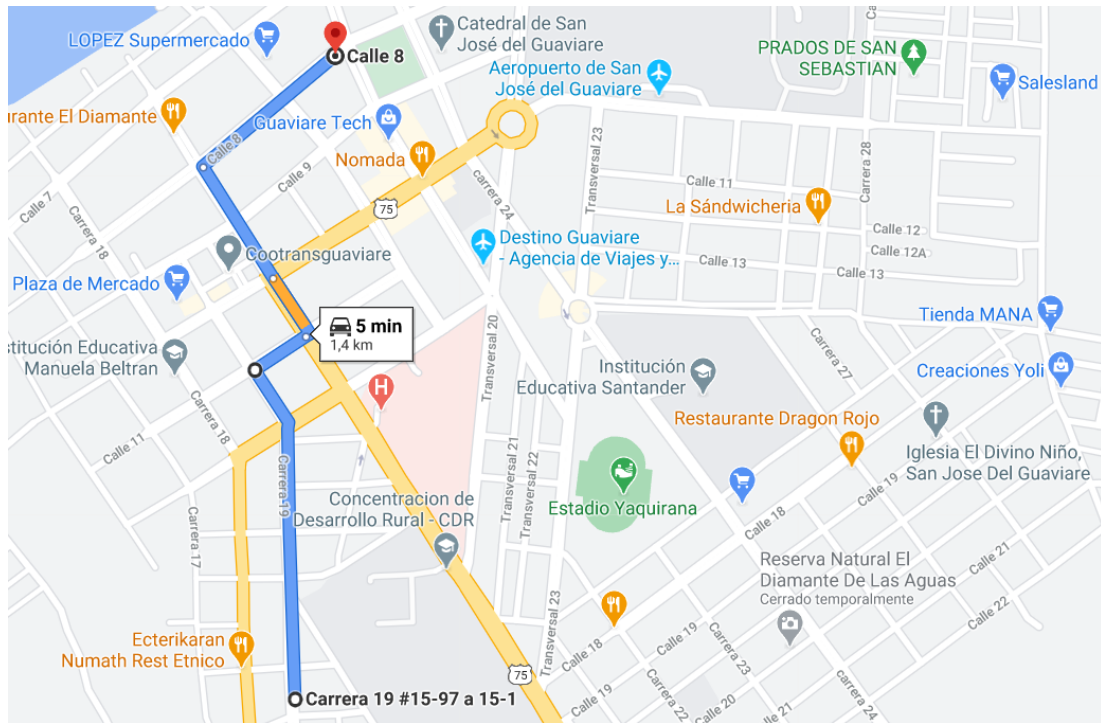
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-54: Ruta mínima 27 por TransCAD.



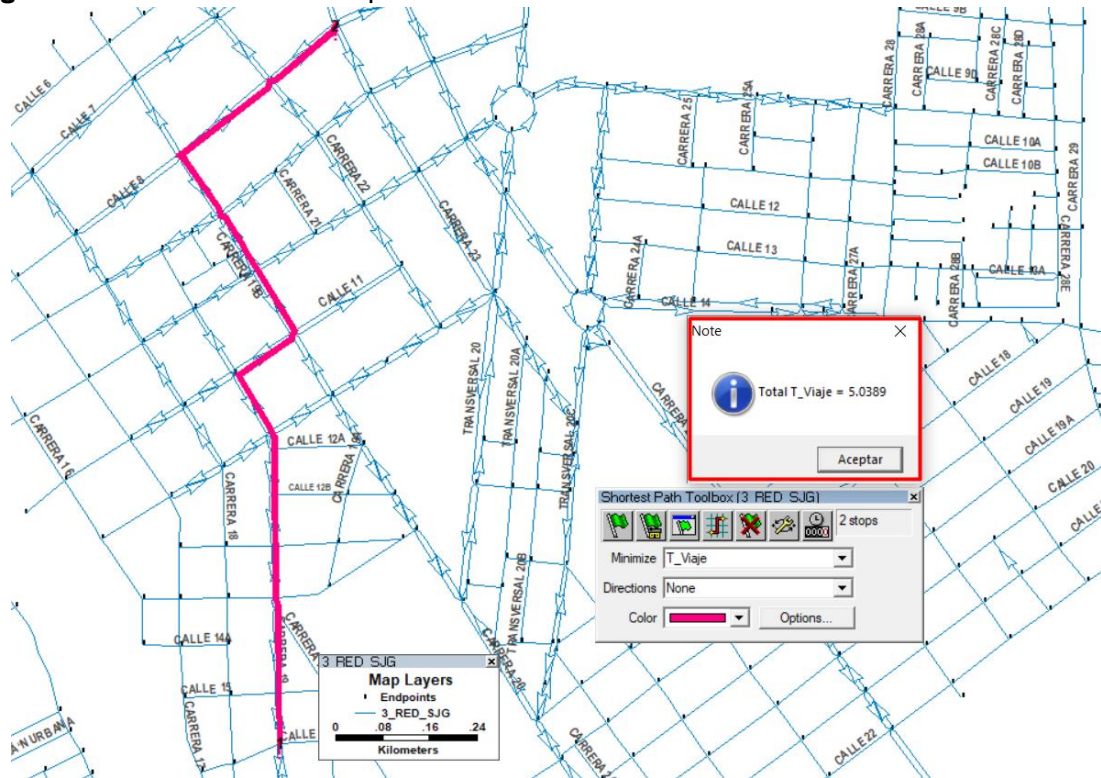
Fuente: Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-55: Ruta mínima 28 por Google Maps.



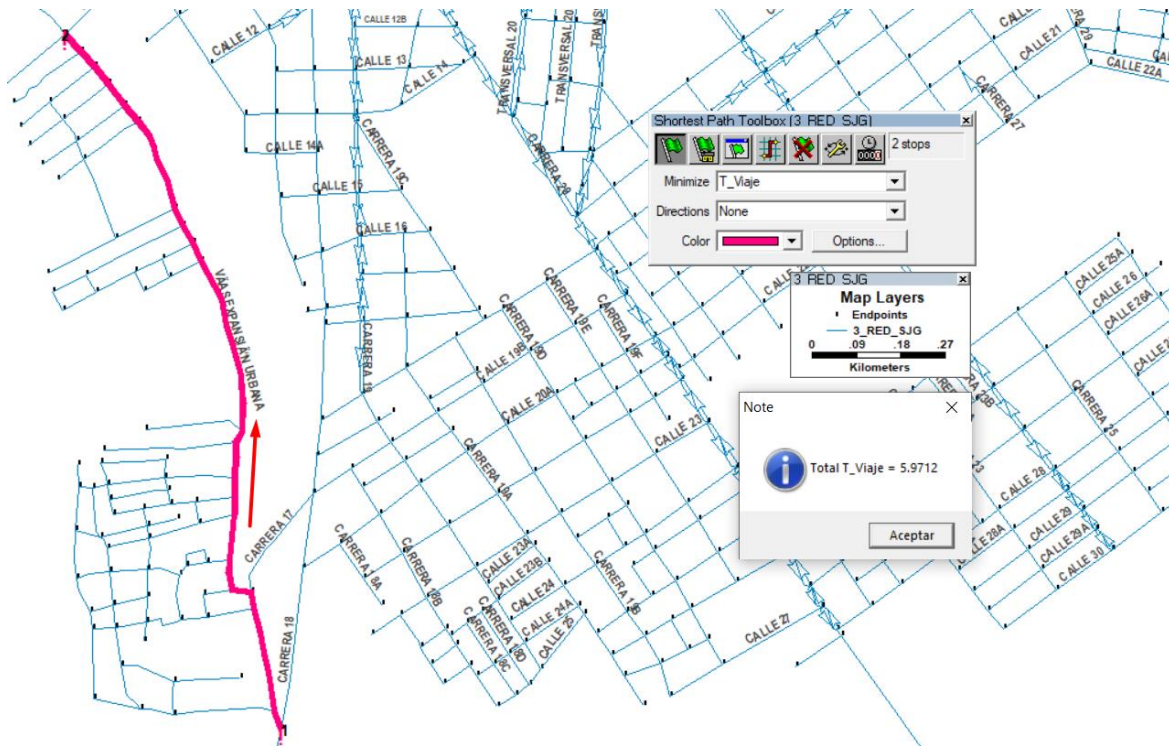
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-56: Ruta mínima 28 por TransCAD.



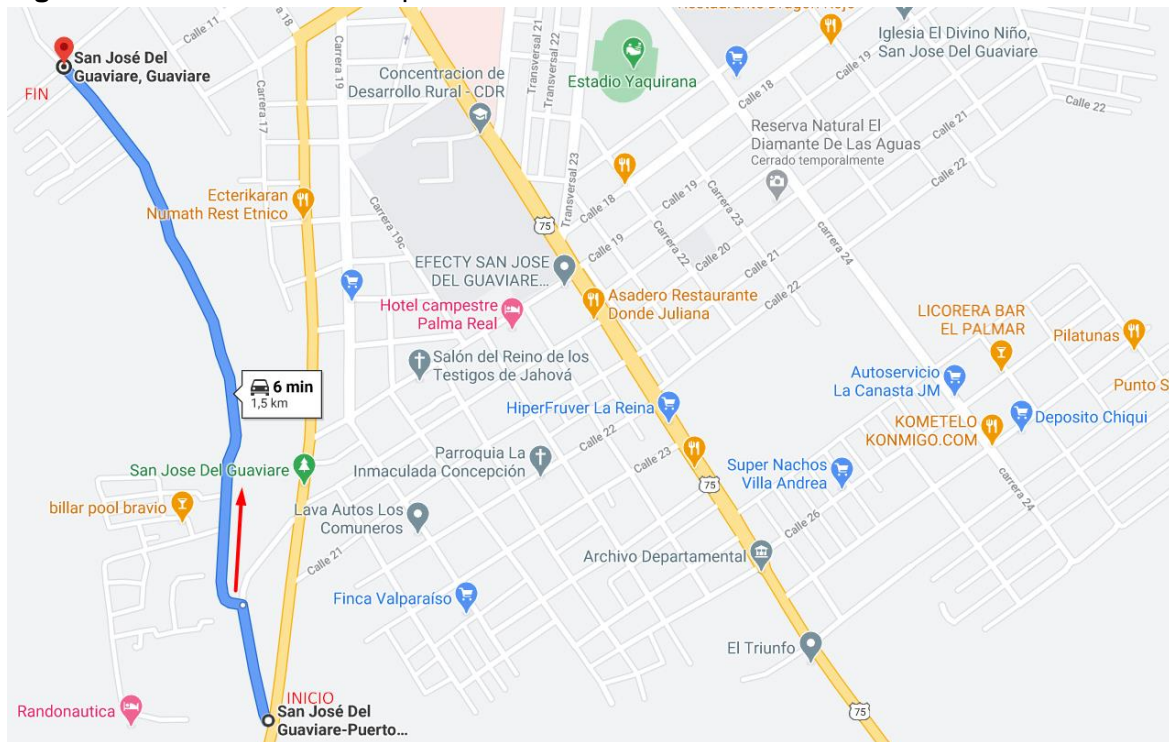
Elaboración propia a partir de TransCAD.

Figura D-57: Ruta mínima 29 por Google Maps.



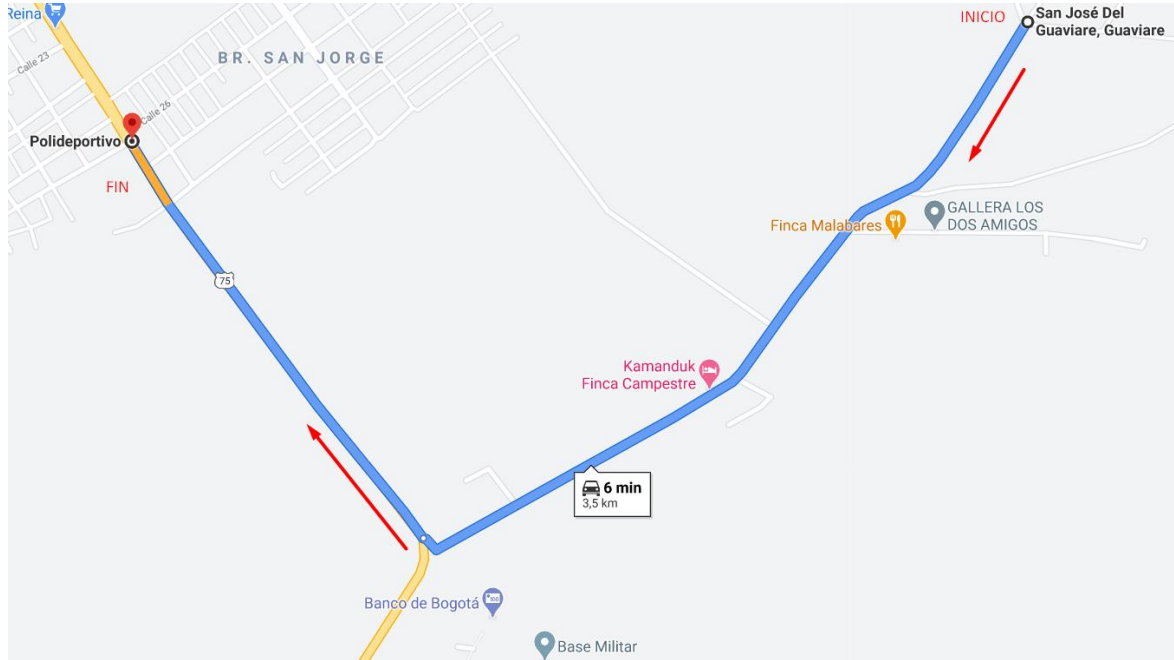
Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

Figura D-58: Ruta mínima 29 por TransCAD.



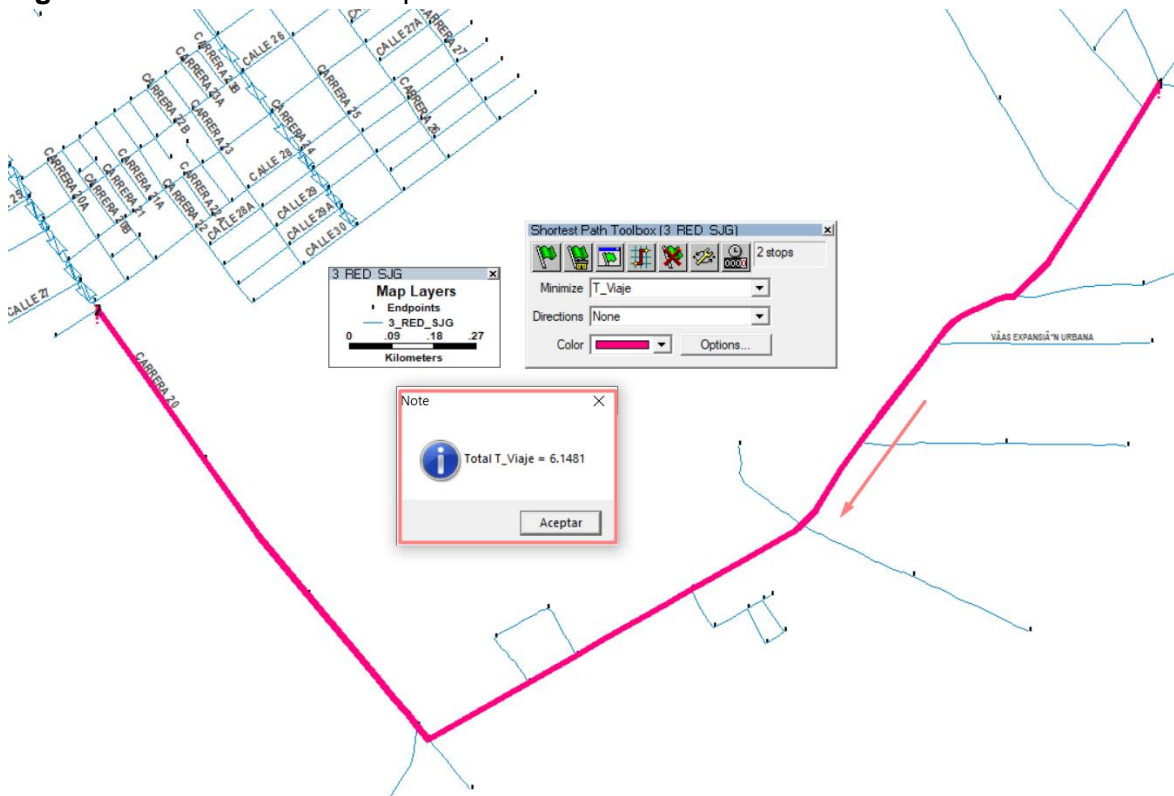
Elaboración propia a partir de TransCAD.

**Figura D-59:** Ruta mínima 30 por Google Maps.



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Maps.

**Figura D-60:** Ruta mínima 30 por TransCAD.



Elaboración propia a partir de TransCAD.