

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

Trabajo final de graduación

Departamento: Transportes

**Análisis de la implementación de un sistema de buses de tránsito rápido para el  
corredor Tibás - Santo Domingo**

Elaborado por:

Luis Eduardo Salazar Villalobos

Director

Jonathan Agüero Valverde, Ph.D

San José, Costa Rica

Noviembre, 2020

## Hoja de aprobación



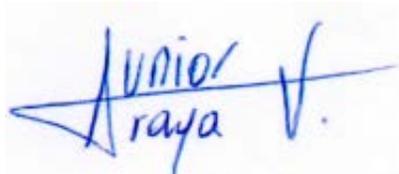
Ing. Jonathan Agüero Valverde, PhD.

Director



Ing. Germán Valverde González, M.B.A., M.Sc

Asesor



Ing. Junior Araya Villalobos.

Asesor



Luis Salazar Villalobos

Estudiante

## **Derechos de propiedad intelectual**

29 de enero de 2021

El suscrito, Luis Eduardo Salazar Villalobos, cédula 4 0229 0701, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné B46393, manifiesta que es autor del Trabajo Final de Graduación: "Análisis de implementación de un sistema de Buses de Tránsito Rápido para el corredor Tibás – Santo Domingo", bajo la Dirección del Ing. Jonathan Agüero Valverde, Ph.D., quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Nota: de acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N0 6683, artículo 7; "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

Salazar Villalobos, Luis Eduardo

Análisis de la implementación de un sistema de buses de tránsito rápido para el corredor Tibás - Santo Domingo

Proyecto de graduación – Ingeniería civil – San Jose, CR

L.E. Salazar V., 2020

## **Resumen**

El sistema de transporte público siempre ha sido uno de los medios de transporte más utilizados por la población costarricense, sin embargo, a lo largo de los años se ha construido un sistema deficiente, ya que se tienen duplicidad de servicios, altos tiempos de viaje, mala calidad de autobuses, entre otros. Por lo que una mejora en este servicio beneficiaría a una parte importante de la población y mejoraría la vialidad en las ciudades. Una forma eficiente de mejorar la movilización de los usuarios del Sistema de transporte público es mediante la implementación de un sistema BRT, el cual consiste en un ordenamiento de las rutas de autobús, donde además de esto se tienen que añadir elementos como pago electrónico, autobuses de mayor capacidad, estaciones de intercambio, carriles exclusivos, entre otros. Esta forma de movilización permite aumentar el nivel de servicio del sistema, ya que reduce los tiempos de viaje y tiempo de espera de los usuarios; además de esto, aumenta la demanda del transporte público y ayuda a beneficiar al ambiente con sus efectos indirectos.

Mediante un análisis de la población y del servicio ofrecido por las empresas que operan actualmente el corredor, se realizó una caracterización del sector de estudio, para posteriormente realizar una propuesta de un sistema BRT para el corredor Tibás – Santo Domingo, donde se proponen rutas troncales y secundarias, estaciones de intercambio, carriles exclusivos. Además, se da un análisis de la zona de cobertura que tendría este nuevo servicio y se proponen las frecuencias y flota sugeridas para cada una de las rutas secundarias y troncales.

TRANSPORTE PÚBLICO, AUTOBUS, TIBÁS, SANTO DOMINGO, BRT, RUTA TRONCAL, RUTA SECUNDARIA

Ing. Jonathan Agüero Valverde, Ph.D.

Escuela de Ingeniería Civil

Salazar Villalobos, Luis Eduardo

Implementation guidelines for BRT System in the road corridor Tibás – Santo Domingo

Thesis – Civil Engineering – San José. C.R.

L.E. Salazar V., 2020

## **Abstract**

The public transport system has always been one of the most used means of transport by the Costa Rican population, however, over the years a deficient system has been built, since there are duplicity of services, high travel times, poor quality of buses, among others. Therefore, an improvement in this service would benefit a significant part of the population and improve roads in cities.

An efficient way to improve the mobilization of users of the public transport system is through the implementation of a BRT system, which consists of an ordering of bus routes, where in addition to this, elements such as electronic payment, buses of greater capacity, interchange stations, exclusive lanes, among others. This form of mobilization allows to increase the level of service of the system, since it reduces the travel times and waiting time of the users; In addition to this, it allows a decrease in the operating expenses of bus companies, increases the demand for public transport and helps to benefit the environment with its indirect effects.

Through an analysis of the population and the service offered by the companies that currently operate the corridor, a characterization of the study sector was carried out, to later make a proposal for a BRT system for the Tibás - Santo Domingo corridor, where trunk routes are proposed and secondary, interchange stations, exclusive lanes. In addition, an analysis of the coverage area that this new service would have is given and the suggested frequencies and fleet are proposed for each of the secondary and trunk routes.

BUS, COVERAGE DESIGN, BRT SYSTEM, SERVICE DESIGN, TIBAS, SANTO DOMINGO, BRT CORRIDOR

Jonathan Agüero Valverde, Ph.D.

Civil Engineering School

*Dedicada a mi familia, por siempre apoyarme y confiar en mí.*

*Especialmente a mi abuela Isabel, te amo ma.*

## **Agradecimientos**

Primeramente, agradecer a mi familia, a mi mamá, a mi papá y a mis hermanos, quienes siempre fueron mi principal apoyo en todo lo que necesite durante este camino. Los amo mucho.

A mis mejores amigos, José e Isaac, quienes siempre estuvieron conmigo durante todo este proceso universitario. No hubiera sido lo mismo sin ustedes, muchas gracias por todas esas enseñanzas que nos dimos mutuamente, los amo mucho y agradezco a Dios por haberlos puesto en mi camino.

A mis otros amigos de la Universidad y de la vida; Josh, Mariana, Fran, Sofia, Randall, Marilaura, Roy....., ¡muchas gracias por estar ahí! Son una parte muy importante de mi vida, Gracias!!

Muchas gracias a mi director Jonathan, por todo el apoyo y por hacer que este proceso final de tesis fuera agradable.

Y finalmente, muchas gracias a Dios y a la vida, por permitirme vivir estos momentos, sentir la felicidad y el orgullo de terminar una carrera universitaria. Por siempre darme la fuerza para poder salir adelante cuando las circunstancias se complicaban, simplemente gracias.

# Tabla de contenido

<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Justificación</b> .....	<b>1</b>
1.1.1 <i>Problema específico</i> .....	1
1.1.2 <i>Importancia</i> .....	3
<b>1.2. Objetivos</b> .....	<b>6</b>
1.2.1 <i>Objetivo general</i> .....	6
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	6
<b>1.3. Alcance</b> .....	<b>7</b>
<b>1.4. Limitaciones</b> .....	<b>8</b>
<b>1.5. Metodología</b> .....	<b>8</b>
<b>2. Marco teórico e hipótesis</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1. Sistemas de transporte urbano</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2. Características de los sistemas de transporte publico</b> .....	<b>14</b>
2.2.1 <i>Características operativas</i> .....	14
2.2.2 <i>Nivel de servicio</i> .....	16
2.2.3 <i>Impacto</i> .....	18
2.2.4 <i>Costos</i> .....	19
<b>2.3. Bus Rapid Transit (BRT)</b> .....	<b>19</b>
2.3.1 <i>Características físicas</i> .....	21
<b>2.4. Beneficios de un BRT</b> .....	<b>28</b>
2.4.1 <i>Usuarios</i> .....	28
2.4.2 <i>Operadores de ruta</i> .....	28
2.4.3 <i>Impactos globales</i> .....	28
<b>3. Caracterización del sector Santo Domingo – Tibás – San José</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1. Delimitación del sector Santo Domingo – Tibás – San José</b> ... 30	
<b>3.2. Características físicas del sector Santo Domingo – Tibás – San José</b> .....	<b>39</b>
<b>3.3. Manejo operativo de las rutas</b> .....	<b>42</b>

3.3.1 . Ruta 400-A .....	43
3.3.2 Ruta 20.....	46
<b>3.4. Características poblacionales del sector Tibás – Santo Domingo.....</b>	<b>63</b>
<b>4. Propuesta del sistema BRT .....</b>	<b>74</b>
<b>4.1. Diseño de rutas troncales .....</b>	<b>77</b>
4.1.1 Troncal 1: Santo Domingo – Tibás – San José .....	77
4.1.1 Troncal 2: San José – San Miguel x Pista .....	86
<b>4.2. Rutas secundarias .....</b>	<b>88</b>
<b>4.3. Análisis de la propuesta de sectorización .....</b>	<b>93</b>
<b>4.4. Infraestructura sugerida.....</b>	<b>101</b>
4.4.1 Intercambios.....	101
4.4.2 Carriles exclusivos .....	109
4.4.3 Paradas .....	112
4.4.4 Accesibilidad .....	112
<b>4.5. Tecnología .....</b>	<b>113</b>
4.5.1 Vehículos.....	113
4.5.2 Sistema de pago .....	115
4.5.3 Información al usuario.....	117
<b>5. Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>118</b>
<b>6. Bibliografía .....</b>	<b>120</b>

## Índice de figuras

Figura 1. Distribución por modo de transporte de los viajes realizados en los periodos picos .....	1
Figura 2. Espectro del transporte público sobre llantas.....	2
Figura 3 Comparación del esquema radial atomizado de itinerarios con el esquema tronco alimentado .....	3
Figura 4. Comparación entre los diferentes sistemas de transporte público.....	4
Figura 5. Niveles de IPK para sistemas de BRT en Latinoamérica .....	5
Figura 6. Contaminación producida por el sector transporte. ....	6
Figura 7. Metodología de la investigación .....	9
Figura 8. Transmilenio, Bogotá. ....	13
Figura 9. Criterios y puntaje que componen The BRT Standard .....	20
Figura 10. Autobús articulado de 18 m.....	21
Figura 11. Estación de intercambio TransMilenio.....	25
Figura 12. Pago electrónico en autobuses .....	27
Figura 13. Mapa de la zona de estudio .....	31
Figura 14. Mapa de paradas y rutas de autobús en sentido 2-1 .....	34
Figura 15. Mapa de paradas y rutas de autobús en sentido 1-2 .....	35
Figura 16. Mapa de paradas y rutas de autobús tipo circuito .....	36
Figura 17. Mapa de área de servicio del transporte público.....	38
Figura 18. Mapa de ríos y relieve en la zona de estudio.....	40
Figura 19. Mapa de ríos y relieve en la zona de estudio.....	41
Figura 20. Carril exclusivo en el cantón de Tibás.....	42
Figura 21. Unidad de autobús de la compañía Rápidos Heredianos .....	43
Figura 22. Ruta 400-A.....	44
Figura 23. Pasajeros totales mensuales en ruta 400-A.....	45
Figura 24. Pasajeros totales en ruta 400-A en el primer semestre 2020.....	45

Figura 25. Autobús de las rutas COOPANA S.A .....	46
Figura 26. Rutas administradas por COOPANA S.A .....	48
Figura 27. Demanda total en la ruta 20 para el primer semestre del 2020 .....	50
Figura 28. Demanda de pasajeros en ramal A (Quebradas – Santo Domingo – San Jose).....	52
Figura 29. Demanda de pasajeros en ramal B (Barrio Virginia – Florida – Tibás – San Jose) .....	52
Figura 30. Demanda de pasajeros en ramal C (Calle Higinia – Santo Tomás – Santo Domingo- San José) .....	52
Figura 31. Demanda de pasajeros en ramal D (Florida – Llorente – San José) .....	53
Figura 32. Demanda de pasajeros en ramal E (Florida – Tibás – San José).....	53
Figura 33. Demanda de pasajeros en ramal F (La Vigui – Santo Domingo – San José) .....	53
Figura 34. Demanda de pasajeros en ramal G (Las Juntas – San Luis – San Jose x pista).....	54
Figura 35. Demanda de pasajeros en ramal H (Los Ángeles – San Luis – San Miguel – San Jose x pista).....	54
Figura 36. Demanda de pasajeros en ramal i (Mega Super – La Victoria – Santo Domingo– San José) .....	54
Figura 37. Demanda de pasajeros en ramal J (San José – Almendros – Cuatro Reinas por el cruce) .....	55
Figura 38. Demanda de pasajeros en ramal K (San José – Bajo Piuses) .....	55
Figura 39. Demanda de pasajeros en ramal L ( San José – Barrio Virginia – Barrio Socorro).....	55
Figura 40. Demanda de pasajeros en ramal M (San José – San Miguel – La Zamora).....	56
Figura 41. Demanda de pasajeros en ramal N (San José – Cuatro Reinas por Tibás).....	56
Figura 42. Demanda de pasajeros en ramal O (San José – El INVU – Linda Vista).....	56
Figura 43. Demanda de pasajeros en ramal P (San José – Jardines – Santa Monica).....	57
Figura 44. Demanda de pasajeros en ramal Q (San José – Las Reinas – Cuatro Reinas).....	57
Figura 45. Demanda de pasajeros en ramal R (San Martin – Santa Rosa – Santo Domingo - San Jose) .....	57
Figura 46. Demanda de pasajeros en ramal S (Santo Domingo – Santo Tomás – Los Ángeles – San Miguel) .....	58
Figura 47. Demanda de pasajeros en el mes de enero 2020 .....	58
Figura 48. Demanda de pasajeros en el mes de febrero 2020.....	58

Figura 49. Demanda de pasajeros en el mes de marzo 2020 .....	59
Figura 50. Demanda de pasajeros en el mes de octubre 2019 .....	59
Figura 51. Demanda de pasajeros en el mes de noviembre 2019 .....	59
Figura 52. Demanda de pasajeros en el mes de diciembre 2019 .....	60
Figura 53. Frecuencia de autobuses reportada por el operador para cada tramo de carretera en el sector de estudio.....	61
Figura 54. Cantidad de rutas por sector de carretera .....	62
Figura 55. Población en la zona de estudio.....	65
Figura 56. Población especial dividida por distritos.....	66
Figura 57. Porcentaje de viviendas que poseen vehiculo y motocicleta en el sector de estudio .....	67
Figura 58. Grafico de densidad poblacional.....	68
Figura 59. Densidad de población en la zona de estudio.....	69
Figura 60. Densidad de población en la zona de estudio.....	70
Figura 61. Matriz OD resultante de trabajo de campo día hábil en bus regular según sector .....	71
Figura 62. Matriz OD resultante de trabajo de campo día hábil en bus regular según cantón .....	73
Figura 63. Sectorización propuesta por EPYPSA .....	76
Figura 64. Propuesta de ruta troncal Santo Domino-Tibás-San Jose .....	78
Figura 65. Giros conflictivos para la ruta troncal .....	79
Figura 66. Giro conflictivo 1.....	80
Figura 67. Giro conflictivo 2.....	80
Figura 68. Diseño de los giros conflictivos para el sector de Santo Domingo .....	81
Figura 69. Recorrido de vehículos privados en el centro del cantón de Santo Domingo.....	82
Figura 70. Detalle de red vial en el centro del cantón de Santo Domingo .....	83
Figura 71. Intersección de inicio de nuevo carril reversible .....	85
Figura 72. Ruta troncal San Jose – San Miguel .....	87
Figura 73. Rutas secundarias en el sector de Santo Domingo .....	90
Figura 74. Rutas secundarias en el sector de Tibás .....	91
Figura 75. Rutas secundarias en el sector de San Miguel.....	92

Figura 76. Área de influencia de la propuesta de sectorización .....	96
Figura 77. Área de influencia de la propuesta de sectorización junto con la densidad de población	97
Figura 78. Área de influencia de la propuesta de sectorización en la zona de Santo Domingo .....	98
Figura 79. Área de influencia de la propuesta de sectorización en la zona de San Miguel.....	99
Figura 80. Área de influencia de la propuesta de sectorización en la zona de Tibás.....	100
Figura 81. Área para intercambio del parque central de Tibás.....	102
Figura 82. Área para intercambio en la iglesia católica .....	102
Figura 83. Zona para la construcción del futuro intercambio de San Miguel .....	103
Figura 84. Terreno para futuro intercambio en San Miguel .....	104
Figura 85. Espacio vial disponible para futuro intercambio en San Miguel .....	104
Figura 86. Zona para el intercambio frente al Bar mi Parcela en la ruta 5 .....	105
Figura 87. Lugar para la construcción de bahías de estacionamiento para el intercambio de Santo Domingo.....	106
Figura 88. Fotografía actual del lugar de construcción.....	107
Figura 89. Espacio disponible para la construcción de bahías.....	107
Figura 90. Diseño de bahías de intercambio de Santo Domingo .....	108
Figura 91. Carril exclusivo en el sector de Tibás.....	110
Figura 92. Carril exclusivo a implementar en el centro de San José .....	111
Figura 93. Rampa de acceso para autobús .....	113
Figura 94. Autobús articulado.....	114
Figura 95. Funcionamiento del pago electrónico en Costa Rica .....	116
Figura 96. Plan para la implementación del pago electrónico en Costa Rica .....	116

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Características de importancia de cada sector .....	4
Cuadro 2. Rutas de autobuses del sector de estudio .....	7
Cuadro 3. Principales indicadores de desempeño .....	16
Cuadro 4. Niveles de servicio según diferentes indicadores.....	17
Cuadro 5. Niveles de servicio según diferentes indicadores.....	18
Cuadro 6. Características de los diferentes tipos de vehículos .....	21
Cuadro 7. Espaciamientos típicos de un BRT .....	26
Cuadro 8. Rutas en el sector de estudio .....	33
Cuadro 9. Tarifa y recorrido en ramales de ruta 20 .....	47
Cuadro 10. Demanda de pasajeros para el mes de agosto 2019 .....	49
Cuadro 11. Codificación para los ramales de la Ruta 20.....	51
Cuadro 12. Frecuencias reportadas por el operador en ramales de ruta 20.....	63
Cuadro 13. Proyección de población total del área de estudio.....	64
Cuadro 14. Porcentaje de adulto mayor y personas con discapacidad .....	66
Cuadro 15. Área y densidad de población por distrito.....	68
Cuadro 16. Frecuencias y cantidad de buses por ramal .....	77
Cuadro 17. Ramales según su intercambio con la ruta troncal .....	88

# 1. Introducción

## 1.1. Justificación

### 1.1.1 Problema específico

El transporte público en Costa Rica es una de las grandes deficiencias que ha presentado el país desde hace ya varias décadas. Debido al gran impacto social y económico que provoca el problema de la movilidad urbana, el estado ha realizado fuertes inversiones para poder solucionarlo, sin embargo, la mayoría de estas han estado guiadas a la optimización del transporte privado y no en mejorar e incentivar el uso del transporte público. Adicional a esto, es importante mencionar que la sociedad costarricense es sumamente dependiente del transporte público, en la Figura 1 se presenta un gráfico con la utilización de los diferentes modos de viaje en los periodos picos.

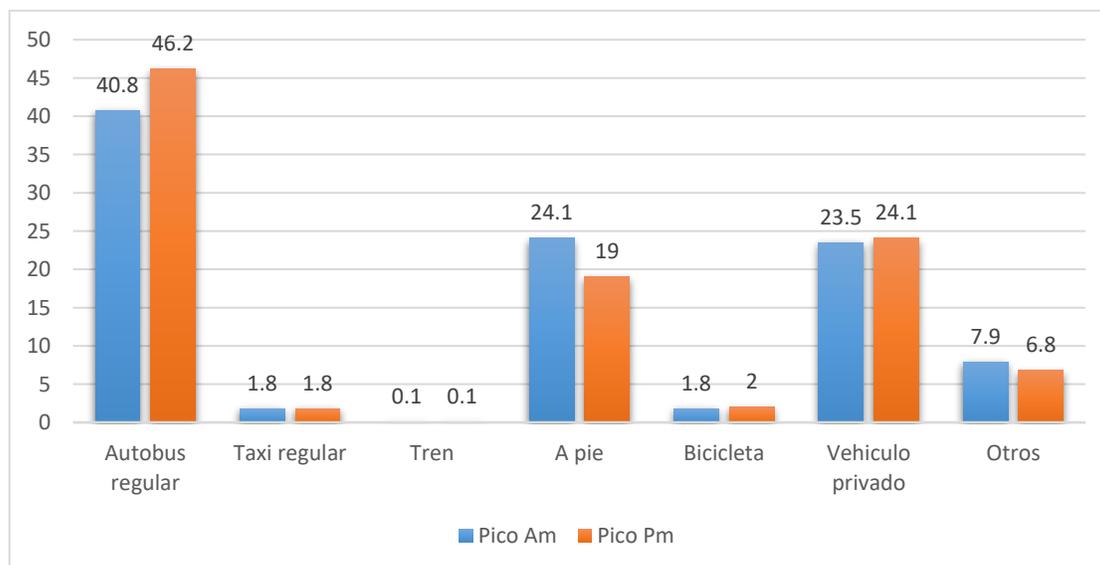


Figura 1. Distribución por modo de transporte de los viajes realizados en los periodos picos  
Fuente: LCR Logistics S.A, 1999

Como se menciona en el Plan Nacional de Transportes de Costa Rica, informe publicado por el MOPT (Ministerio de Obras Públicas y Transporte) en el año 2011 "Las soluciones técnicas para conseguir un sistema de transporte de pasajeros eficiente, en las áreas urbanas y metropolitanas del país, no requiere grandes proyectos sino ordenación, racionalización y profesionalización." Por lo que si se optimiza las características operativas del sistema de transporte público (frecuencia de viajes, tiempo de viaje, accesibilidad, entre otros) se puede

llegar a obtener un resultado satisfactorio en el aumento del uso de este servicio sin la necesidad de gastar cantidades extraordinarias de dinero.

Una de las formas más efectivas de mejorar el servicio que brinda el transporte público es mejorando su funcionamiento operativo, siendo el tiempo de espera y el tiempo de viaje las variables más importantes, ya que estas son las que más significativas para los usuarios a la hora de elegir su modo de viaje. Este proyecto pretende analizar la mejora del corredor Tibás - Santo Domingo mediante la implementación de un BRT (Bus Rapid Transit). En la Figura 2 se muestra una representación de los diferentes sistemas de transporte público sobre llantas

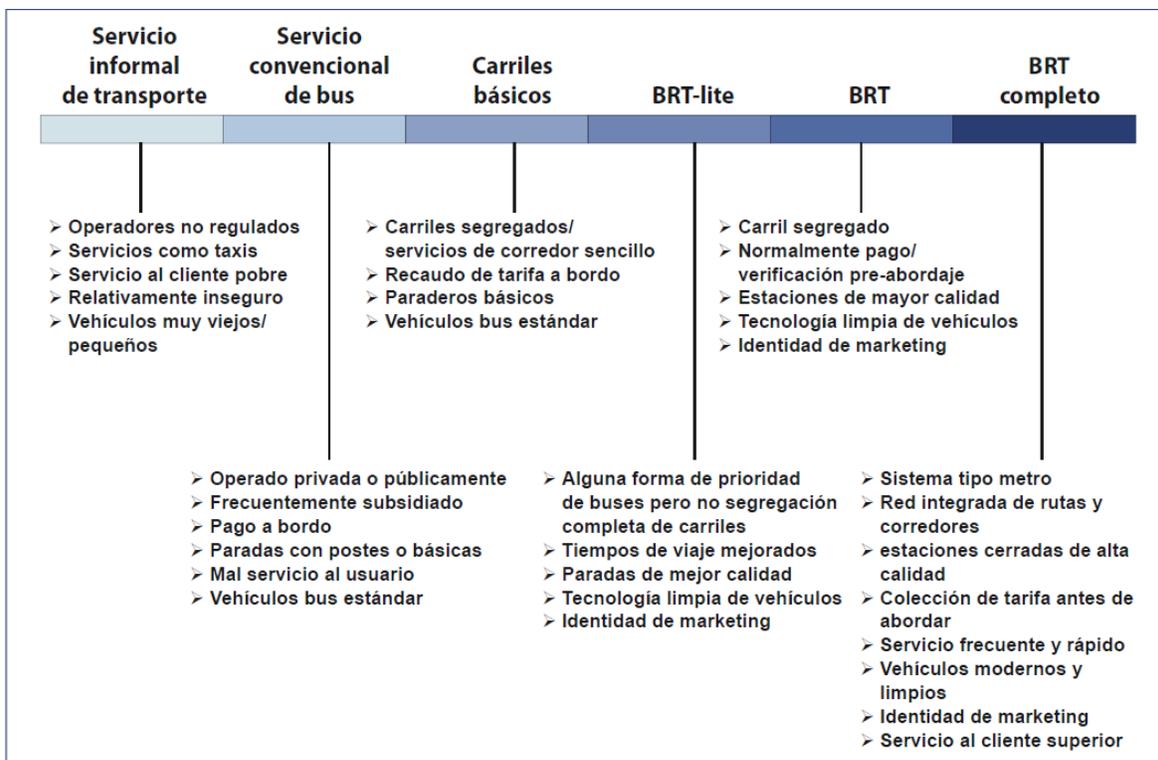


Figura 2. Espectro del transporte público sobre llantas

Fuente: TCRP, 2010

Según el Plan Nacional de Transportes (PNT), la sectorización del transporte público es una de las principales estrategias para mejorar la movilidad y así poder disminuir la congestión vehicular. Esto consiste en la creación de rutas troncales alimentada por rutas secundarias, por lo que la utilización de un BRT en estos corredores principales es una alternativa que mejoraría el funcionamiento operativo de la red, ya que disminuiría el tiempo de espera de los usuarios, así como también el tiempo de viaje.

Una de las ventajas que provocaría la sectorización es ayudar al descongestionamiento que sufre el casco central de la ciudad de San José, ya que para esta zona el sistema de autobuses acrecienta la congestión vial y contribuye al deterioro urbano (INECO, 2011) esto debido a que existe una saturación de autobuses en esa zona. Por lo que la sectorización ayudaría a disminuir la cantidad de autobuses, ya que solo tendrían que acceder a esta zona los buses de las rutas troncales, en la Figura 3 se ilustra el concepto de ruta troncal y rutas alimentadoras.

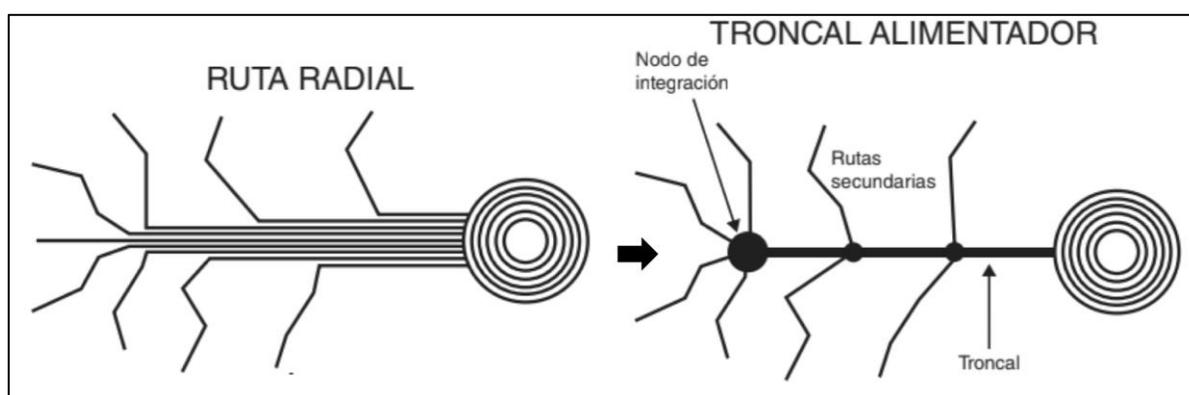


Figura 3 Comparación del esquema radial atomizado de itinerarios con el esquema tronco alimentado  
Fuente: (Castillo Flores & Quiros Solano, 2018)

### 1.1.2 Importancia

La congestión vial es un problema que afecta a la sociedad costarricense diariamente, por lo que la implementación de un BRT conjuntamente con un proyecto de sectorización de la zona en estudio tendría un impacto importante en el nivel de servicio de la carretera. En la Figura 4 se muestra una comparación entre los diferentes métodos de transporte público, en ella se puede observar como el BRT tiene el costo más bajo asociado con una capacidad alta, siendo esta muy similar a la del sistema de riel elevado.

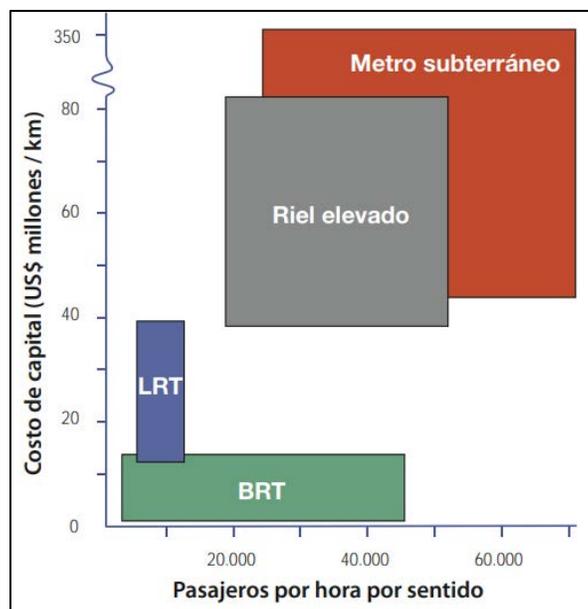


Figura 4. Comparación entre los diferentes sistemas de transporte público  
Fuente: ITPD

La empresa LCR Logística S.A realizó un estudio en 1999 donde se definen sectores potenciales para realizar un proyecto de sectorización y así utilizar estos corredores como rutas troncales, en el Cuadro 1 se muestra algunas características de importancia de cada sector.

Cuadro 1. Características de importancia de cada sector

	Sector	Demanda	IPK	Población
01	Central	98.746	12.7	47.838
02	San Pedro - Curridabat	246.400	16.4	208.902
03	San Francisco - Desamparados	181.690	9.7	246.990
04	Hatillo San Sebastián de Alajuela	161.471	13.2	243.511
05	Escazú - Santa Ana	59.530	2.8	71.754
06	Pavas	74.355	3.9	112.550
07	Uruca - Heredia	253.851	11.6	196.694
08	Tibás Santo Domingo	141.537	11.0	130.293
09	Guadalupe - Moravia	234.155	15.3	258.963
<b>TOTAL</b>		<b>1.451.710</b>		<b>1.517.495</b>

Fuente: CFIA (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos)

Como se puede observar en la Figura 5, la demanda y el Índice de pasajeros por kilómetro (IPK) de la zona de estudio demuestra que este sector tiene un alto potencial de poder desarrollar con éxito un proyecto de este tipo. Como referencia, se puede tomar los datos publicados por la UITP (*Union Internationale des Transports Publics*), donde se puede observar que los niveles de IPK de algunos sistemas de BRT en Latinoamérica son incluso más bajos al del sector en estudio.

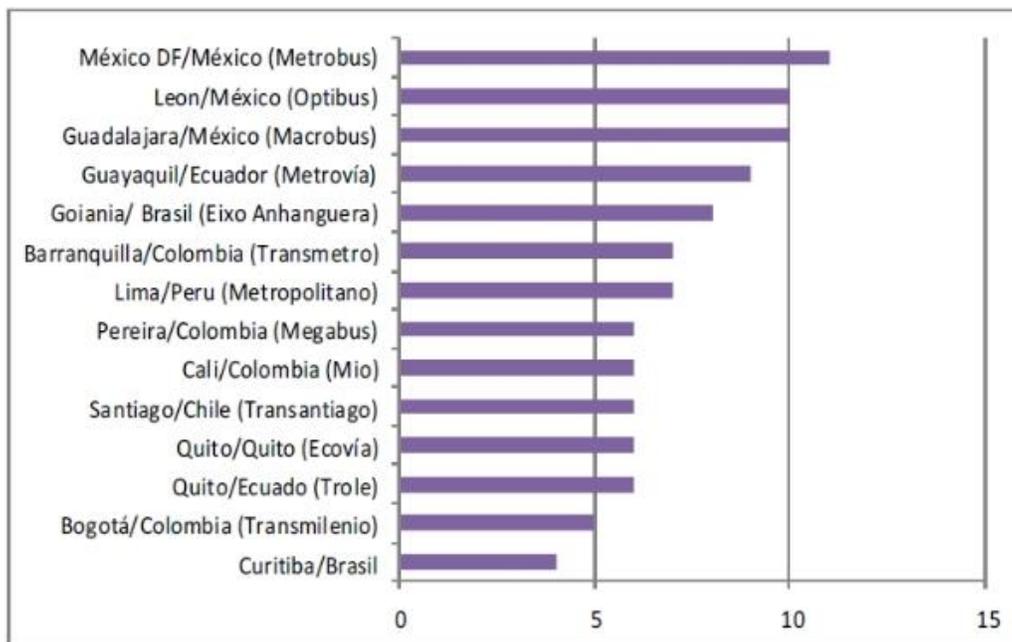


Figura 5. Niveles de IPK para sistemas de BRT en Latinoamérica  
Fuente: UITP

El sector de estudio presenta la influencia de aproximadamente 11 rutas de autobuses, donde todas recorren el mismo corredor para poder llegar al centro de San José, por lo que la implementación de un modelo de sectorización influiría de manera positiva el nivel de servicio de esta ruta, el cual actualmente tiene una calificación F. Según los estudios realizados por la empresa LCR Logistic S.A se proyecta una demanda para el año 2020 de 2157 viajes/hora en el corredor de estudio, por lo que un volumen grande de viajes se vería beneficiado

Un aporte indirecto que tiene la implementación de un modelo de sectorización es la reducción de la contaminación que produce el sector transporte, como se muestra en la Figura 6, los automóviles son los que mayor contaminación provocan, por lo que implementar un sistema de autobuses efectivo puede provocar que los usuarios decidan

realizar sus viajes en autobús y así se provocar una disminución del uso del transporte privado. Además de esto, el sistema BRT puede reducir la cantidad de autobuses que se utilizan, ya que generalmente se recomienda utilizar vehículos de alta capacidad, como por ejemplo, buses articulados, los cuales tienen capacidades que varía entre los 80 y 170 pasajeros y una longitud entre 16 a 18 metros.

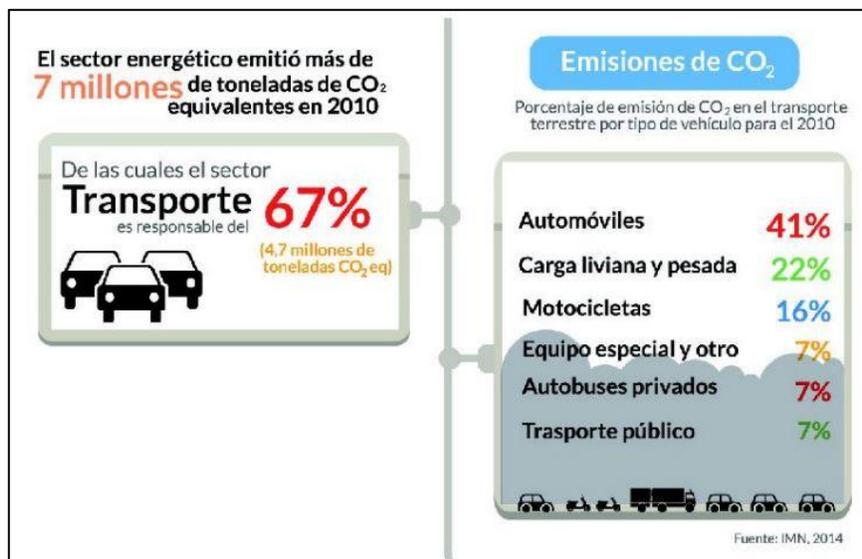


Figura 6. Contaminación producida por el sector transporte.  
Fuente: Ministerio de Ambiente y Energía

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

- Analizar la implementación de un sistema de buses de tránsito rápido para el corredor Tibás – Santo Domingo.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar las condiciones operativas del sistema de transporte público en el corredor Tibás – Santo Domingo.
- Determinar la cobertura del servicio de transporte público basado en los datos del censo 2011 de la zona de Tibás – Santo Domingo.
- Plantear, mediante los componentes de un sistema de buses de tránsito rápido, la infraestructura requerida para el corredor Tibás – Santo Domingo.

- Identificar las estaciones de intercambio y el comportamiento de los enlaces entre la ruta troncal y las rutas alimentadoras.

### 1.3. Alcance

- No se darán detalles de costos de las obras recomendadas para la zona, tanto a nivel de operacional de la ruta como de la infraestructura vial.
- El proyecto consiste en el análisis de la implementación del sistema BRT en el corredor Santo Domingo - Tibás, en el Cuadro 2 se muestran las rutas del sector.

Cuadro 2. Rutas de autobuses del sector de estudio

Descripción del ramal	Código
Barrio Lourdes-Quebradas-Santo Domingo-Tibás-San José	A
Barrio Virginia-Florida-Tibás-San José	B
Calle Higinia-Santo Tomás-Santo Domingo-San José	C
Florida-Llorente-San José	D
Florida-Tibás-San José	E
La Vigui-Santo Domingo-Tibás-San José	F
Las Juntas-San Luis-San José X Pista	G
Los Ángeles-San Luis-San Miguel-San José X Pista	H
Mega Súper-La Victoria-Santa Rosa-Santo Domingo-San José	I
San José-Almendros-Cuatro Reinas Por El Cruce	J
San José-Bajo Piuses	K
San José-Barrio Virginia-Barrio Socorro-Pista Urbano	L
San José-Cuatro Esquinas De San Miguel-Los Ángeles-Proyecto De Vivienda La Zamora	M
San José-Cuatro Reinas Por Tibás	N
San José-El Invu-Linda Vista	O
San José-Jardines-Santa Mónica	P
San José-Tibás-Las Reinas-Cuatro Reinas	Q
San Martín-Santa Rosa-Santo Domingo-San José	R
Santo Domingo-Santo Tomás-Los Ángeles-San Miguel-San Luis	S
Heredia - Santo domingo - Tibás – San José	400-A

- En caso de encontrar algún segmento de carretera conflictiva para el sistema de bus de transido rápido, se realizarán recomendaciones sobre cómo solucionarlo, sin embargo, no se presentarán planos de infraestructura vial de todo el corredor.
- Se propondrán propuestas de rutas troncales y rutas alimentadoras para el sector de estudio.
- Se darán recomendaciones que se deban hacer a la forma operacional de las rutas de autobús

## **1.4. Limitaciones**

- No se cuenta con la información actualizada de las variables operacionales de las rutas que influyen en el corredor de estudio, como lo son la frecuencia o el tiempo de viaje.
- No se tienen los detalles geométricos de todas las secciones del corredor, por lo que, de ser necesario, solo se levantara la geometría de los sectores que presenten dificultades
- Se realizarán recomendaciones en las que se tenga que impactar de menor manera a la infraestructura existente, esto para proponer soluciones de aplicación a corto y mediano plazo
- Debido a la dificultad de realizar estudios de demanda para todas las rutas en estudio, se tomarán datos proyectados en estudios ya realizados sobre este tema.
- Debido a la afectación de la pandemia del COVID-19 no se pudo tomar en cuenta los datos de demanda a partir del mes de abril del año 2020.
- No se cuenta con información reciente y actualizada para la caracterización de la población, por lo que esta se realizará con las bases de datos del INEC del año 2011
- No se cuenta con un perfil de carga para realizar estimaciones de pasajeros por kilómetro ni para determinar con exactitud nodos de atracción y generación de viajes.

## **1.5. Metodología**

La investigación se dividió en 4 etapas, primeramente, se realizó una recopilación de información, luego se llevaron a cabo las etapas 2 y 3, las cuales pueden realizarse de manera conjunta. Una vez finalizada estas etapas, se realizó la cuarta y última etapa, donde se pretende finalizar con la propuesta final del sistema de BRT para el corredor Santo Domingo – Tibás, en la Figura 7 se presenta un esquema de estas etapas.

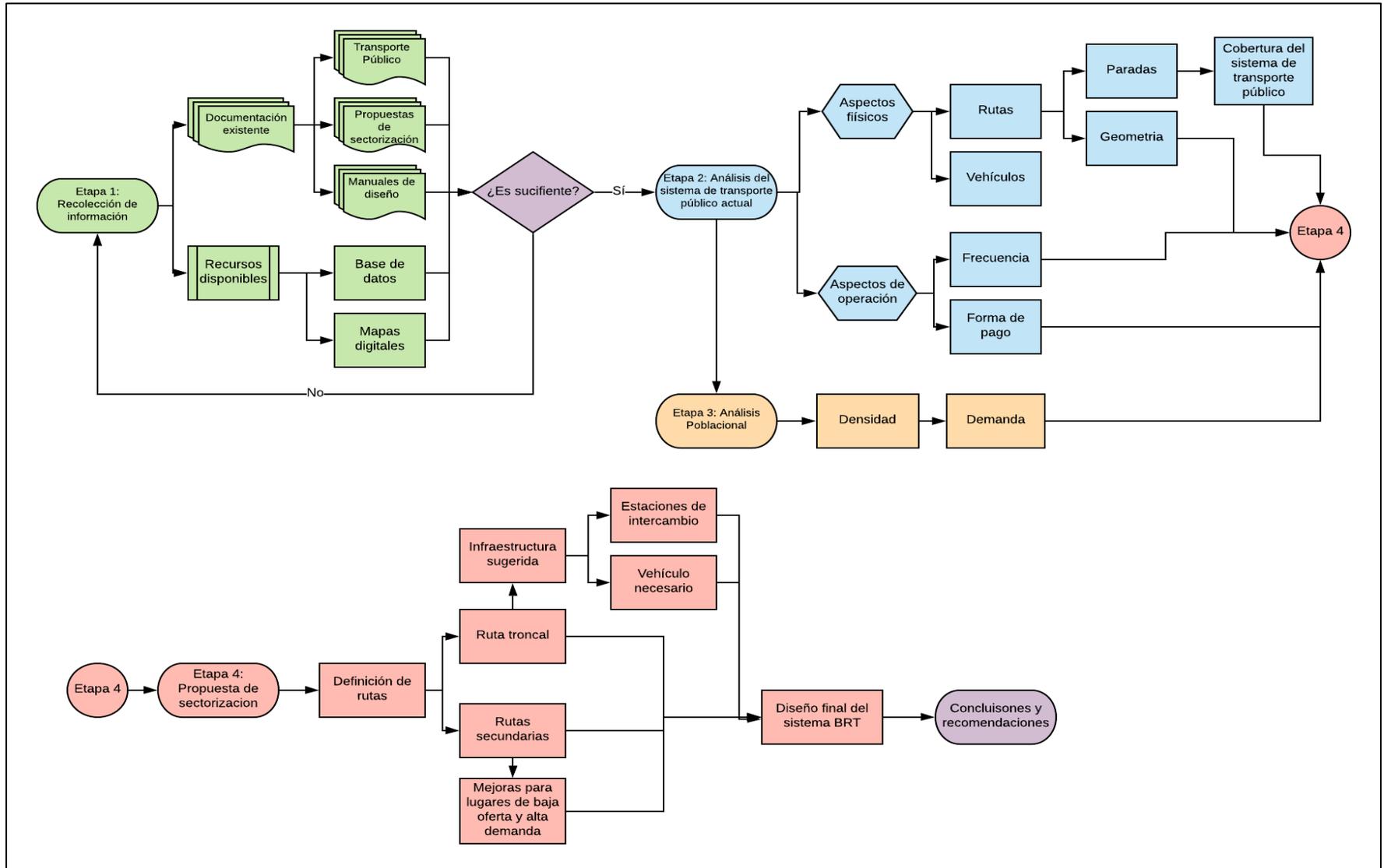


Figura 7. Metodología de la investigación

- Etapa 1: Recolección de información

En esta etapa del proyecto se obtuvo toda la información necesaria para poder iniciar los análisis necesarios para realizar el trabajo final de graduación. Se investigó todos los estudios realizados en transporte público que puedan ayudar a tener un mejor panorama de la situación actual del transporte público en la zona de interés, así como también se revisó los manuales de diseño geométrico para futuramente poder evaluar las rutas seleccionadas. Por otra parte, utilizó la información de base de datos disponibles que puedan ayudar a la investigación, como por ejemplo, los resultados del censo nacional del año 2011, esto para poder determinar la demanda y densidad poblacional de la zona. Así mismo, se usó los datos de demanda reportados por las empresas a la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) como datos para evaluar el posible impacto del sistema.

- Etapa 2: Análisis del sistema de transporte público actual

En esta segunda etapa se analizó 2 grandes áreas del transporte público, como lo son los aspectos físicos y las características operacionales, uno de los aspectos más importantes que se deben de analizar son las rutas que operan en el corredor de estudio, ya que se debe de conocer con certeza las características que estas poseen. Se debe de tener un panorama claro de la geometría que presentan estas rutas, para poder evaluar en un futuro si la implementación de vehículos de alta capacidad es posible o si es necesario realizar intervenciones en la infraestructura vial. Se utilizó el software "Mi ruta" para georreferenciar el lugar exacto donde el autobús realiza paradas y así poder crear una relación con la posible demanda de los diferentes sectores de los distritos, esto mediante la comparación de la disponibilidad de transporte público con la densidad poblacional de sector de estudio.

Dicha comparación se realiza para poder observar a esos lugares donde existe una densidad poblacional alta y no tienen un acceso adecuado al transporte público. Por otra parte, es fundamental conocer la frecuencia y forma de pago con que operan dichas rutas, para así poder determinar cuáles deben de mejorar en este aspecto en función de la demanda asociada.

- Etapa 3: Análisis poblacional

Para comenzar esta etapa se realizaron mapas con densidad de población, utilizando los datos del Censo nacional del 2011, esto para poder observar cuales son los lugares de mayor concentración de población y poder así contrastarlo con la oferta ofrecida por el servicio de transporte publico actual. Se obtuvieron los datos del porcentaje de adultos mayores y personas discapacitadas que viven en el sector de estudio, también se analizará la cantidad de hogares que poseen vehículo privado o motocicleta, ya que esto influye a la hora de decidir la forma de viaje.

- Etapa 4: Propuesta de sectorización

Una vez que se tiene claro todo el panorama actual del sistema de transporte público local, tanto en aspectos físicos como en operacionales, se procede a la elección de las rutas troncales y las secundarias. En la ruta troncal se propondrán mejoras en la geometría de la carretera y en el vehículo utilizado, esto para poder ofrecer un mejor nivel de servicio en la ruta. Mientras que en las rutas secundarias ofrecen recomendaciones de cómo aumentar la cobertura del sistema, medida que puede impactar positivamente en la demanda actual.

## 2. Marco teórico e hipótesis

### 2.1. Sistemas de transporte urbano

Para poder tener un mejor entendimiento de lo que es un sistema BRT es importante definir algunos términos necesarios para su comprensión. Los sistemas de transporte urbano se definen como el conjunto de infraestructura y vehículos dedicados a la movilización de personas y bienes (Díaz, 2019). En el caso del transporte urbano de personas, se tienen 3 clasificaciones:

- Sistema de transporte público: Es un sistema integral de medios de transporte de uso generalizado, capaz de dar solución a las necesidades de desplazamientos de las personas. Generalmente la tarifa, rutas y horarios son regulados por el gobierno, quien es el encargado de velar por que se cumpla una buena calidad del servicio. Dentro de esta categorización se encuentran los trenes, autobuses, microbuses, sistemas BRT, metros, entre otros. (Vuchic, 2007)
- Sistema de transporte privado: Es todo aquel que ocurre cuando se utiliza un vehículo privado para la movilización de personas, no se tiene una tarifa regulada ni paradas preestablecidas. El transporte privado puede suceder tanto en vehículos no motorizados (bicicletas), como vehículos motorizados. (Vuchic, 2007)
- Paratransit o servicios especiales: Se caracterizan por ser una mezcla entre sistema público y sistema privado, ya que no cuentan con horarios o rutas establecidas, sin embargo, se cobra una tarifa previamente definida, ya sea por el dueño del vehículo o definida por el Estado. Se puede mencionar como ejemplo de paratransit los taxis, busetas escolares, carros de alquiler, entre otros. (Vuchic, 2007)

La forma en que viajan los vehículos en una red de transporte urbano es una de las características más influyentes en el desempeño del sistema de transporte público, el derecho de vía, o ROW por sus siglas en inglés, se define como "La proporción de vialidad o superficie de rodamiento por donde circulan las unidades de transporte, incluyendo el peatón." (Molinero & Sánchez, 1997). Existen 3 categorías de derecho de vía:

- Categoría C: Esta forma de viaje se caracteriza por presentar una mezcla entre el sistema de transporte público y el privado, puede existir carriles exclusivos para el transporte público, sin embargo, no posee ninguna separación física entre ambos carriles. Este modo es el más usual en los sistemas de transporte público de Costa Rica.
- Categoría B: Presenta una separación física entre los vehículos privados y el transporte público, esto para evitar que otros vehículos utilicen esta vía para circular. Esta categoría es usual en el sistema de trenes o en líneas de autobús con un carril exclusivo separado del resto de carriles. Dicha categoría es la más usual en los diferentes sistemas BRT del mundo, en la Figura 8 se observa un ejemplo de esta en el Transmilenio de Bogotá, Colombia.
- Categoría A: Es un ROW completamente controlado, sin ningún tipo de acceso legal para otro tipo de vehículo. Se tiene libertad de paso en todo el recorrido, ya que no interseca en ningún momento con las otras carreteras, es usual en metros o trenes a desnivel.



Figura 8. Transmilenio, Bogotá.  
Fuente: ITPD, 2010

## 2.2. Características de los sistemas de transporte publico

Es importante realizar la diferencia entre los términos operación del transporte y servicio de transporte, ya que ambos forman parte del sistema de transporte. Operación de transporte se refiere a la logística que requiere organizar y operar un sistema de transporte, esto desde el punto de vista de la compañía o institución que facilite este servicio, por ejemplo, recolección de tarifas, mantenimiento de las unidades, supervisión y coordinación diaria de las unidades de transporte, establecimiento de horarios, entre otros. Por su parte, servicio de transporte hace referencia a como se percibe el sistema de transporte, tanto por los usuarios actuales, como por los potenciales usuarios que se eventualmente usarían el sistema.

Según menciona Vuchic, los aspectos más importantes de los sistemas de transporte público se pueden dividir en 4 categorías: Características operativas, nivel de servicio, impactos y costos.

### 2.2.1 Características operativas

- Frecuencia (f): Se define como la cantidad de unidades de transporte que transitan por un punto específico en el lapso de una hora
- Intervalo (i): Es el tiempo transcurrido entre la salida de dos unidades de transporte, generalmente se expresa en minutos. Se relaciona con la frecuencia de la siguiente manera:

$$i = \frac{60}{f}$$

- Capacidad vehicular ( $C_v$ ) = Cantidad máxima de usuarios que puede transportar una unidad de transporte. Se toma en cuenta tanto los usuarios que van de pie como los que van sentados.
- Capacidad de línea (C) = Indica la cantidad máxima de usuarios que pueden ser transportados en el lapso de una hora.

$$C = f * C_v$$

- Índice de pasajeros por kilómetro (IPK) = Indica la eficiencia de las rutas de transporte público, hace referencia a la cantidad de pasajeros que se movilizan en relación con el kilometraje total de los viajes realizados. (Díaz, 2019)

$$IPK = \frac{\text{Cantidad total de usuarios en un periodo determinado}}{\text{Kilometraje total de las unidades de transporte en el mismo periodo}}$$

- Longitud de recorrido (L) = Distancia entre una terminal y otra de la misma ruta, se expresa generalmente en kilómetros.
- Tiempo en terminal ( $t_t$ ) = Tiempo que le toma a una unidad de transporte en llegar la terminal y volver a salir a ruta
- Tiempo de recorrido ( $t_r$ ) = Tiempo que tarda una unidad de transporte en llegar de una terminal a otra
- Tiempo de ciclo ( $t_c$ ) = Tiempo que tarda la misma unidad de transporte en pasar por un mismo punto 2 veces, si los tiempos de recorrido no son iguales en ambos sentidos, se debe de sumar por separado.

$$t_c = 2 * (t_t + t_r)$$

- Sección de máximo volumen: Corresponde al segmento de la ruta donde se concentra la mayor cantidad de usuarios dentro de una unidad de transporte. (Díaz, 2019).
- Velocidad de operación: Es la velocidad con que operan las unidades de transporte durante su recorrido, se toma en cuenta el tiempo de cada parada a lo largo de la ruta (Vuchic, 2007). Se calcula mediante la siguiente formula:

$$V_o = \frac{L}{t_r}$$

- Volumen de diseño: Es el volumen máximo de pasajeros a lo largo de la sección de máximo volumen.

### 2.2.2 Nivel de servicio

Es importante conocer la percepción que tiene el usuario hacia el sistema de transporte, ya que según Hernández y Chavez (2015) una buena calidad de servicio puede ayudar a retener pasajeros de autobús que tienen otras opciones de transporte. El nivel de servicio en transporte público se define como “el desempeño general del servicio de transporte público desde el punto de vista del usuario”.

En el Cuadro 3 se presenta los principales indicadores que permiten medir el desempeño de los sistemas de transporte público, los cuales son utilizados por el Transit Cooperative Research Program (TRCP).

Cuadro 3. Principales indicadores de desempeño

<b>Indicadores de desempeño</b>	
<b>Distancia entre rutas</b>	Seguridad
<b>Cobertura</b>	Accesibilidad de las paradas
<b>Frecuencia</b>	Lapso de servicio
<b>Horas de servicio</b>	Horas en que se perciben ingresos
<b>Distancia entre paradas</b>	Tiempo de respuesta
<b>Composición de la flota</b>	Personas sin abordar
<b>Rendimiento puntual en las rutas</b>	Capacidad en asientos
<b>Regularidad de avance</b>	Viajes cancelados
<b>Equipamiento de autobús</b>	Confort del pasajero
<b>Satisfacción del usuario</b>	Accesibilidad
<b>Generación de viajes</b>	Estado de las paradas de autobús
<b>Análisis demográfico</b>	Antigüedad de la flota

Fuente: Hernández & Chaves (2015)

La calidad del servicio refleja que tan bien el servicio de transporte público satisface las necesidades de los usuarios. Sin embargo, es necesario un balance entre los deseos de los usuarios y el servicio que se puede proveer de una manera razonable o factible en términos económicos. (Hernández & Chaves, 2015).

Dependiendo de los factores anteriormente mencionados, se establecen 6 categorías de nivel de servicio, las cuales se presentan en el Cuadro 4. En el informe realizado por Hernández & Chaves (2015) se presentan la relación de los niveles de servicio con algunos de los indicadores de desempeño, donde el nivel A corresponde al de mejor calidad en el servicio mientras que el F al más deficiente. Cabe destacar que estos niveles de servicio se deben de tomar de forma individual, es decir, se establece un nivel de servicio según el intervalo de operación, según los viajes por día y según las horas de servicio.

Cuadro 4. Niveles de servicio según diferentes indicadores

<b>Nivel de servicio</b>	<b>Intervalo (minutos)</b>	<b>Viajes por día</b>	<b>Horas de servicio</b>
<b>A</b>	<10	<15	19-24
<b>B</b>	10-14	12-15	17-18
<b>C</b>	15-20	8-11	14-16
<b>D</b>	21-30	4-7	12-13
<b>E</b>	31-60	2-3	4-11
<b>F</b>	>60	0-1	0-3

Fuente: (TCRP, Report 165: Transit Capacity and Quality of Service Manual, 2013)

### 2.2.3 Impacto

El transporte público debe entenderse como una industria de servicio, por lo que es necesario que se esté en una constante evaluación de la calidad del servicio que se ofrece, para poder identificar las necesidades de los usuarios y poder resolverlas. Sin embargo, el servicio de transporte público no solo afecta al usuario directo, sino que también tiene una afectación directa con la comunidad donde se brinda el servicio, por lo que el impacto del servicio de transporte público son los efectos que se producen en toda el área donde se brinda el servicio. Según menciona el Transit Cooperative Research Program (TRCP) en su reporte número 88, se debe de tratar de mejorar las necesidades desde 3 puntos de vista diferentes: Usuarios, comunidad y vehículos privados, los cuales son explicados en el Cuadro 5.

Desde el punto de vista del usuario es importante tener un control eficiente en los tiempos de viaje, ya que según el ingeniero Leonardo Castro, esta es la variable más importante para los usuarios al momento de elegir el modo de transporte. En el siguiente cuadro se presentan los aspectos más importantes a considerar desde los diferentes puntos de vista.

Cuadro 5. Niveles de servicio según diferentes indicadores

Punto de vista	Aspecto
<b>Usuario</b>	Seguridad del viaje Prestación de servicio Disponibilidad Tiempo de viaje
<b>Comunidad</b>	Reducción de la congestión y de la contaminación Cobertura Movilización de personas que no tienen acceso a vehículos privados
<b>Vehículos privados</b>	Tiempo de viaje Relación volumen/capacidad en las carreteras

Fuente: Hernández & Chaves (2015)

#### 2.2.4 Costos

Los costos que conlleva un proyecto de transporte público son de gran importancia a la hora de evaluar el desempeño que se tiene en el sistema. Estos se dividen en 2 categorías, la primera es la inversión inicial, la cual corresponde a los costos inherentes para la construcción de infraestructura necesaria para la correcta operación de las unidades de transporte, por ejemplo, la construcción de las paradas de autobús. Así mismo, se tienen los costos de operación, los cuales son los gastos en que se deben de incurrir desde el momento en que se pone en funcionamiento el sistema, entre ellos se puede mencionar: mantenimiento de las unidades, combustible, entre otros.

### 2.3. Bus Rapid Transit (BRT)

Según el Institute for Transportation and Development Policy (ITPD) se define el sistema de BRT como: "Un sistema basado en buses de alta calidad, que proporciona movilidad urbana rápida, cómoda y con un costo-beneficio favorable a través de la provisión de infraestructura segregada de uso exclusivo, operaciones rápidas y frecuentes, y excelencia en mercadeo y servicio al usuario/cliente". La definición de un sistema BRT no se limita solamente al autobús de alta capacidad que será utilizado en los corredores, sino que es todo un conjunto de elementos necesarios para poder dar un buen funcionamiento al sistema.

Los 2 aspectos de los que depende un sistema BRT eficiente son: la forma de operación del transporte público y la infraestructura necesaria. En el aspecto operacional, se requiere integración de rutas, pago electrónico y un modelo de sectorización adecuado para la zona de estudio, mientras que en la infraestructura se debe de contar con mejoras en las terminales de autobuses, carriles exclusivos en las zonas más congestionadas y paradas de intercambio adecuadas entre las rutas secundarias y la ruta troncal (ITPD).

El ITPD, en su publicación "*The BRT Standard*", publicó una guía de puntuación para los sistemas BRT del mundo, en dicho estudio participaron expertos en transporte público y planificación urbana. Dicha medida se utiliza para poder establecer una definición general sobre este concepto y que no se llame de esta forma a cualquier mejora en el sistema de

autobuses. Según la cantidad de puntos otorgado a cada sistema de BRT se tienen diferentes calificaciones:

- Oro: De 85 a 100 puntos obtenidos
- Plata: De 70 a 84 puntos obtenidos
- Bronce: De 55 a 69 puntos obtenidos
- BRT básico: De 18 a 54 puntos obtenidos

Cabe mencionar que se necesita tener al menos 18 puntos en categoría de “Características básicas de BRT” para poder ser considerados como un sistema BRT. En la Figura 9 se presentan los requerimientos evaluados por esta organización, así como su puntaje asociado para llegar a obtener los diferentes niveles.

CATEGORÍA	PUNTAJE MÁXIMO		PUNTAJE MÁXIMO
<b>CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE BRT</b> (págs. 15–21)		<b>DISEÑO DE LA ESTACIÓN E INTERFAZ DE LA ESTACIÓN-AUTOBÚS</b> (pags. 33–36)	
Alineación de carriles	7	Distancia entre estaciones	2
Carriles exclusivos y derecho de vía	7	Estaciones seguras y cómodas	3
Pago de pasaje anterior al abordaje	7	Número de puertas por autobús	3
Manejo de intersecciones	6	Bahías y paradas secundarias	1
Abordaje a nivel de plataforma	6	Puertas corredizas en las estaciones de BRT	1
<b>PLANEACIÓN DEL SERVICIO</b> (pags. 22–27)		<b>CALIDAD DEL SERVICIO Y DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA PASAJEROS</b> (pags. 37–38)	
Rutas múltiples	4	Creación de marca	3
Frecuencia en horario pico	3	Información a pasajeros	2
Frecuencia en horario no pico	2		
Servicios locales, directos y limitados	3	<b>INTERROGACIÓN Y ACCESO</b> (pags. 39–44)	
Centro de control	3	Acceso universal	3
Presencia en los 10 corredores principales	2	Integración con otros transportes públicos	3
Horas de operación	2	Acceso peatonal	3
Perfil de demanda	3	Estacionamiento seguro para bicicletas	2
Red de corredores múltiples	2	Carriles para bicicletas	2
<b>INFRAESTRUCTURA</b> (pags. 28–32)		Integración con sistemas de préstamo de bicicletas	1
Carriles de rebase en estaciones	4	<b>TOTAL</b>	<b>100</b>
Minimización de emisiones de autobuses	3	<b>CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE BRT</b>	
Estaciones que no se estorban con intersecciones	3	(Mínima necesaria 18)	<b>33</b>
Estaciones en el centro	2		
Calidad del pavimento	2		

Figura 9. Criterios y puntaje que componen The BRT Standard  
Fuente: Institute for Transportation and Development Policy (ITPD)

### 2.3.1 Características físicas

A continuación, se presenta los componentes físicos necesarios para la implementación de un sistema BRT, como se menciona anteriormente, estas son solo las características mínimas que debe poseer, ya que hay muchos otros factores que ayudarían a aumentar la eficiencia del sistema y así poder impactar de una mejor manera la movilidad en las ciudades.

- **Vehículos**

No necesariamente el vehículo de mayor capacidad va a ser el más indicado para un sistema de BRT, ya que esto lo define las características del corredor, como por ejemplo la demanda y la geometría. En el Cuadro 6 se presentan los posibles tamaños que pueden tener los autobuses.

Cuadro 6. Características de los diferentes tipos de vehículos

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Longitud del vehículo (m)</b>	<b>Capacidad (Pasajeros / vehículo)</b>
Bi-Articulado	24	240 - 270
Articulado	18.5	120 – 170
Estándar	12	60 - 80
Mini Bus	6	25 - 35

Fuente: Institute for Transportation and Development Policy (ITPD)



Figura 10. Autobús articulado de 18 m  
Fuente: TransMilenio, 2020

Según el ITPD, en corredores de baja demanda los vehículos de alta capacidad también tienden a tener frecuencias de servicio más bajas y por tanto, tiempos de espera más largos para los pasajeros. La geometría de la carretera también influye en la escogencia del vehículo a utilizar, ya que se debe de asegurar que las dimensiones de la vía permitan que los autobuses realicen los giros adecuadamente.

El tamaño operacional de la flota es algo que se ve influido por el tipo de vehículo escogido, ya que si se tienen autobuses de baja capacidad se va a necesitar un mayor número de vehículos y viceversa. Otras características que influyen en el tamaño de flota es la demanda de la ruta y el tiempo de ciclo de la vía, que se toma como el tiempo que le toma al mismo autobús pasar por un punto de control dos veces.

Tomando en cuenta las variables antes mencionadas, el Institute for Transportation and Development Policy (ITPD) recomienda utilizar la siguiente fórmula para decidir el tamaño óptimo de la unidad de transporte.

$$C_b = \frac{C_o}{L_f * f * N_{sb}}$$

Donde

- C<sub>b</sub> = Capacidad del vehículo, en pasajeros por vehículo.
- C<sub>o</sub> = Capacidad del corredor, en pasajeros por hora por día
- L<sub>f</sub> = Factor de carga entre 0,65 y 0,90, varía horas pico y horas valle.
- F = Frecuencia en vehículos por hora.
- N<sub>sb</sub> = número de bahías de parada.

- **Carriles diferenciados**

Una de las principales ventajas que posee la implementación de un sistema BRT es la disminución en el tiempo de viaje, lo que se logra de mejor manera con la separación de flujos en las vías principales. Según Molinero & Sánchez (1997) existen 3 tipos de vías en los que puede transitar un sistema de buses BRT

- Categoría C: Se da un trato preferencial al sistema de transporte público, sin embargo, no se tiene separación física entre los carriles exclusivos y los carriles de tránsito mixto.
- Categoría B: Se tiene una separación física entre los carriles de tráfico mixto y del transporte público, generalmente suele ser una división de concreto, conos o vallas, sin embargo, los cruces de calles con los vehículos privados continúan siendo a nivel.
- Categoría A: derecho de vía del transporte público se encuentra completamente controlado, por lo que hay segregación longitudinal y vertical a través de viaductos elevados o túneles.

Por las limitaciones de la zona de estudio en este proyecto, como lo es el ancho de la vía, las opciones más viables son las de carriles exclusivos y operación en tráfico mixto. Como menciona Vuchic (2007) este tipo de derecho de vía entra en la categoría C, la cual se caracteriza por presentar una mezcla entre el sistema de transporte público y el privado, donde generalmente existen carriles exclusivos para el transporte público. Los vehículos BRT presentan tratamiento preferencial en dichos carriles, pero no existe separación física del resto del flujo, por lo que el vehículo privado suele invadir el carril prioritario. Según el ingeniero Diaz (2019) se pueden presentar 3 diferentes tipos de derecho de vía que caben dentro de la categoría C:

1. Carriles de flujo concurrente: permiten que el bus tenga prioridad en la dirección del mayor flujo durante la hora pico, pero los demás vehículos pueden hacer uso del mismo durante el resto del tiempo. Se diferencian por medio de un color diferente o de dos líneas blancas continuas.
2. Carriles de prioridad: segmento de vialidad donde el vehículo BRT tiene prioridad de paso durante todo el tiempo. Se marcan mediante señalización vertical y horizontal.

3. Carriles de contraflujo: el carril exclusivo que funciona en la dirección opuesta al flujo convencional de los vehículos privados. La dirección del carril puede variarse según la dirección que presente el mayor volumen de vehículos

Para decidir qué tipo de carril diferenciado es el más apto, ASSHTO (2004) establece algunos aspectos que se deben de tomar en cuenta para establecer el sistema de separación de flujos más efectivo, entre ellas se encuentran:

- Geometría del derecho de vía.
- Requerimientos mínimos para el buen funcionamiento del transporte privado.
- El ingreso del usuario al sistema.
- Características de los autobuses.
- Uso del suelo e impactos ambientales.
- Costos de implementación.

### **Estaciones de intercambio**

Según se menciona en el documento realizado por la empresa TCRP (Transit cooperative Research Program) las paradas de autobuses de un sistema BRT deben de contar con todas las características necesarias de accesibilidad y de comodidad para el usuario, por ejemplo, acceso para discapacitados, protección ante el clima, seguridad, iluminación, información al usuario sobre las rutas de autobús, entre otros. Estas características ayudan a promover el uso del transporte público ya si el usuario percibe un espacio confortable y accesible va a tener una mejor aceptación al servicio.

Además, la construcción de todos los intercambios debe ser de manera abierta e integrada con la ciudad, esto para crear lugares agradables para la comunidad, pero facilitando el abordaje y desabordaje de los usuarios. Las paradas intermedias de la ruta troncal deben poseer una bahía de estacionamiento, esto para no interferir con el tráfico vehicular en los sectores donde sea carril compartido.



Figura 11. Estación de intercambio TransMilenio  
Fuente: TransMilenio,2020

El tiempo de parada es un el intervalo de tiempo que necesita el autobús estar detenido en la parada para permitir el abordaje y desabordaje de los pasajeros, por lo que se recomienda que las plataformas de los buses estén al mismo nivel que las plataformas de las estaciones, esto para poder disminuir este tiempo y así disminuir el tiempo de viaje de los usuarios.

Las paradas deben de estar alejadas los más posible entre sí, esto para aumentar la velocidad de operación de las unidades y disminuir los tiempos de parada. En zonas urbanas el modo de arribo más común es como peatón, por lo que se recomienda que las distancias entre estas no sean mayores a 525 metros (Rodríguez, 2011). En el siguiente cuadro se muestran las distancias de separación recomendadas por el TCRP dependiendo del modo de arribo del usuario, sin embargo, las distancias pueden variar dependiendo de la densidad de población o de las características de la zona de implementación del sistema BRT. (TCRP,2003)

Cuadro 7. Espaciamientos típicos de un BRT

Modo de arribo	Distancias de separación (metros)
<b>Peatones</b>	530
<b>Autobús</b>	800 - 1600
<b>Automóvil</b>	3200

Fuente: TCRP, 2003

Según el ITDP (2010) existen 3 tipos de estaciones de intercambio en un sistema BRT, las cuales se clasifican en:

- **Paradas intermedias:** Son las estaciones de intercambio entre la ruta troncal y las rutas alimentadoras
- **Estaciones de intercambio:** Son aquellas que funcionan de como paradas de intercambio entre diferentes rutas troncales
- **Terminal:** Gran instalación generalmente situada al final de un corredor de línea troncal que permite transferencias entre múltiples servicios alimentadores.

A la hora de elegir la ubicación de las estaciones se debe de pensar no solamente en el espacio disponible y los costos asociados, sino que también se debe de tener en cuenta la facilidad de integración que se va a tener con los demás modos de transporte. Se debe de elegir puntos estratégicos, que al cruzarse las rutas trocales o intersectoriales con el tren interurbano se facilite el transbordo entre ambos, así mismo facilitar el acceso a peatones y ciclistas.

- **Integración modal**

La integración modal hace referencia a la interacción de modos de transporte, por lo que se busca que el sistema BRT facilite estas acciones. Debe de ser de fácil acceso para todos los usuarios y complementarse en la mayor medida posible con los demás modos de transporte, como los son los trenes, bicicletas, entre otros.

Como se menciona PRUGAM (2008) "Los diferentes medios de transporte de la GAM compiten entre sí o simplemente no aprovechan complementar sus servicios en mutuo beneficio, para consolidar un sistema integrado de transporte público masivo. De igual forma se dificulta la posibilidad de intercambiar de modo de desplazamiento por falta de infraestructura física adecuada". Para ello, la transferencia debe ser práctica, intuitiva y

ordenada, de manera que el usuario conozca todas las opciones posibles y que este elija de acuerdo a factores controlables como la velocidad, la trayectoria, el costo, la comodidad y la distancia de caminata de cada modo, y de acuerdo a factores no controlables como el clima y los gustos

- **Pago electrónico**

Una de las características que debe de poseer un BRT es la integración de las rutas secundarias con la ruta troncal, una forma muy eficiente de hacer esto es con un sistema de pago electrónico. Una de las principales ventajas que posee este sistema es facilitar el uso del transporte público para el usuario y así incentivar aún más su uso, ya que también se van a ver disminuidos los tiempos de parada, por lo tanto, se disminuirá el tiempo de viaje. Algunas otras ventajas que presenta son:

- Permite tener un registro completo del sistema y, por lo tanto, esto conlleva a un cálculo más justo de las tarifas, beneficiando tanto a usuarios como a empresarios.
- Disminuye el flujo de efectivo en los autobuses, por lo que esto beneficia a los empresarios para disminuir el riesgo de sufrir asaltos a los vehículos.
- Permitir ofrecer descuentos o promociones entre los usuarios para así poder incentivar el uso del servicio.



Figura 12. Pago electrónico en autobuses  
Fuente: Google, 2020

## **2.4. Beneficios de un BRT**

Los principales beneficios que puede provocar un sistema eficiente de transporte público no es en el aspecto monetario sino que, como menciona el Institute for Transportation and Development Policy (ITPD) "es el beneficio global que tales iniciativas le dan a una ciudad y a la calidad de vida de sus habitantes". El mayor impacto que provocan estas iniciativas se percibe de mayor manera en los usuarios y operadores de la ruta, sin embargo, la ciudadanía en general percibe un cambio importante.

### *2.4.1 Usuarios*

Según menciona en el ingeniero Leonardo Castro (Castro, 1999), las variables más influyentes para el usuario de transporte público a la hora de tomar la decisión de utilizar el servicio son el tiempo de viaje y el tiempo de espera, dichas variables son afectadas de manera muy positiva con la implementación de un sistema BRT.

El tiempo de espera es reducido debido a que se aumenta la frecuencia de los autobuses, por lo que el usuario no tendría que esperar tiempos muy prolongados cuando tenga que hacer el intercambio de la ruta alimentadora a la ruta troncal. La implementación de un carril exclusivo, que como se menciona anteriormente es un elemento muy típico de un sistema BRT, provoca que los tiempos de viaje disminuyan debido a que se de una separación de flujos, lo que provoca que el autobús tenga menos dificultades para transitar.

### *2.4.2 Operadores de ruta*

Uno de los gastos más importantes que tiene una empresa de autobuses es en el tema de combustibles, aspecto que se vería disminuido con la implantación de buses de alta capacidad, ya que se necesitarían menos autobuses para cumplir con la demanda dada. Los choferes de los autobuses también son un factor que afecta la productividad de una empresa autobusera, ya que hay existe una baja demanda para la gran oferta que se tiene en este aspecto, por lo que disminuir la cantidad de vehículos puede ayudar a reducir este problema.

### *2.4.3 Impactos globales*

El beneficio que provoca un *Bus Rapid Transit (BRT)* no se da solo en los usuarios de transporte público, ya que un sistema de BRT afecta de manera importante a los usuarios

de la ruta donde se implementará. Según el ingeniero Leonardo Castro (Castro, 1999) , una de las medidas más efectivas para disminuir la congestión en las ciudades es incentivando el uso del transporte público, por lo que el principal beneficio que van a percibir los usuarios de vehículos privados es la disminución del tiempo de viaje debido a la disminución de congestión que presentaría la ruta después de implementar esta metodología.

Otros aspectos que se verán beneficiados, según ITPD, son:

- Reducción en la emisión de gases de efecto invernadero
- Crecimiento urbano en los pueblos que se ven influenciados por el BRT
- Mejora en la movilidad urbana de la zona afectada

### **3. Caracterización del sector Santo Domingo – Tibás – San José**

#### **3.1. Delimitación del sector Santo Domingo – Tibás – San José**

Se tomará como zona de estudio todos los distritos de los cantones de Santo Domingo y Tibás; del cantón de Santo Domingo serían: Santo Domingo, San Vicente, San Miguel, Paracito, Santo Tomás, Santa Rosa, Tures y Para; mientras que para el cantón de Tibás serían los siguientes: San Juan, Cinco Esquinas, Anselmo de Llorente, León XII y Colima.

La superficie total del cantón de Tibás es de 8.15 km<sup>2</sup>, lo que lo ubica en el puesto 79 en comparación con el resto de cantones del país, sin embargo, posee una densidad poblacional de 10 087,8 hab/km<sup>2</sup>, siendo el número 18 en esta categoría. Santo Domingo por su parte tiene un territorio de 24,84 km<sup>2</sup>, siendo el número 74 en comparación con los demás, así mismo, aloja una población de 1399 hab/km<sup>2</sup>, lo que lo ubica en el puesto 55. En la Figura 13 se presenta un mapa de la zona de estudio, donde se muestran dichos distritos y su red vial.



Figura 13. Mapa de la zona de estudio

Una vez definida la zona geográfica es necesario identificar las rutas de autobuses que conforman actualmente el sistema de transporte público a analizar. En el caso de este trabajo se utilizarán como antecedentes 2 estudios, uno realizado por la empresa LCR en el año de 1999 titulado "Reorganización del transporte público en el área metropolitana de San José" (Castro, 1999), y el otro "Apoyo al modelo general de sectorización de transporte público de San José, Costa Rica" (EPYPSA - SIGMA, 2015) realizado por el consorcio EPYPSA - SIGMA GP en el año 2015.

Se encontró que, si se comparan ambos estudios, estos difieren en las rutas de autobuses que consideraron en las respectivas investigaciones. Factores como el crecimiento poblacional, la creación de nuevos planes reguladores y construcciones de nuevos centros comerciales, universidades y zonas francas provocan que las rutas de transporte público varíen en el tiempo (Díaz, 2019).

Según registra el Consejo de Transporte Publico (CTP), las rutas que transitan actualmente por el corredor de Santo Domingo – Tibás – San José son la ruta 20 y la ruta 400-A, siendo esta última la de mayor frecuencia y mayor demanda. La ruta 400-A transita mayormente por la ruta 5, la cual es la carretera central del sector de estudio, lo que provoca que tenga un alto volumen vehicular, tanto vehículos privados como autobuses. Por otro lado, los ramales de la ruta 20 dan acceso al servicio de transporte público a todos los lugares alejados de esta carretera central, funcionando como una red de distribución a los distritos de los cantones de Tibás y Santo Domingo

En los siguientes cuadros se presentan dichas rutas con sus respectivos ramales, así como las distancias recorridas en ambos sentidos. Para facilitar el procesamiento de datos se le agrega una codificación a cada ramal, además cabe mencionar que las rutas consideradas por el CTP difieren de las encontradas en el estudio realizado por EPYPSA - SIGMA GP.

Cuadro 8. Rutas en el sector de estudio

Ruta	Descripción del ramal	Código	Distancia recorrida, km (Aresep)	Distancia recorrida, km (Medida de campo)
20	Barrio Lourdes-Quebradas-Santo Domingo-Tibás-San José	A	12.18	12
20	Barrio Virginia-Florida-Tibás-San José	B	5.36	5.50
20	Calle Higinia-Santo Tomás-Santo Domingo-San José	C	9.6	9.1
20	Florida-Llorente-San José	D	4.76	4.97
20	Florida-Tibás-San José	E	4.73	4.63
20	La Vigui-Santo Domingo-Tibás-San José	F	8.34	8.06
20	Las Juntas-San Luis-San José X Pista	G	11.78	12.40
20	Los Ángeles-San Luis-San Miguel-San José X Pista	H	16.47	16.50
20	Mega Súper-La Victoria-Santa Rosa-Santo Domingo-San José	I	10.25	10.40
20	San José-Almendros-Cuatro Reinas Por El Cruce	J	5.42	5.09
20	San José-Bajo Piuses	K	5.69	5.69
20	San José-Barrio Virginia-Barrio Socorro-Pista Urbano	L	12.81	14.10
20	San José-Cuatro Esquinas De San Miguel-Los Ángeles-Proyecto De Vivienda La Zamora	M	11.46	10.56
20	San José-Cuatro Reinas Por Tibás	N	4.98	5.13
20	San José-El Invu-Linda Vista	O	4.48	4.40
20	San José-Jardines-Santa Mónica	P	4.52	
20	San José-Tibás-Las Reinas-Cuatro Reinas	Q	5.74	5
20	San Martín-Santa Rosa-Santo Domingo-San José	R	9.94	9.93
20	Santo Domingo-Santo Tomás-Los Ángeles-San Miguel-San Luis	S	18.98	18.30
400-A	Santo Domingo - Tibás – San José	400	12.74	12

En las Figuras 14, 15 y 16 se muestran dichas rutas con sus respectivas paradas, para efectos de esta investigación se definió como sentido 1-2 la dirección San José – Tibás – Santo Domingo, mientras que el sentido 2-1 como el opuesto a este, es decir, dirección Santo Domingo – Tibás – San José. Cabe destacar que ciertas rutas son solamente un "loop", es decir, son un circuito donde la terminal es solamente en el centro de San José.



Figura 14. Mapa de paradas y rutas de autobús en sentido 2-1

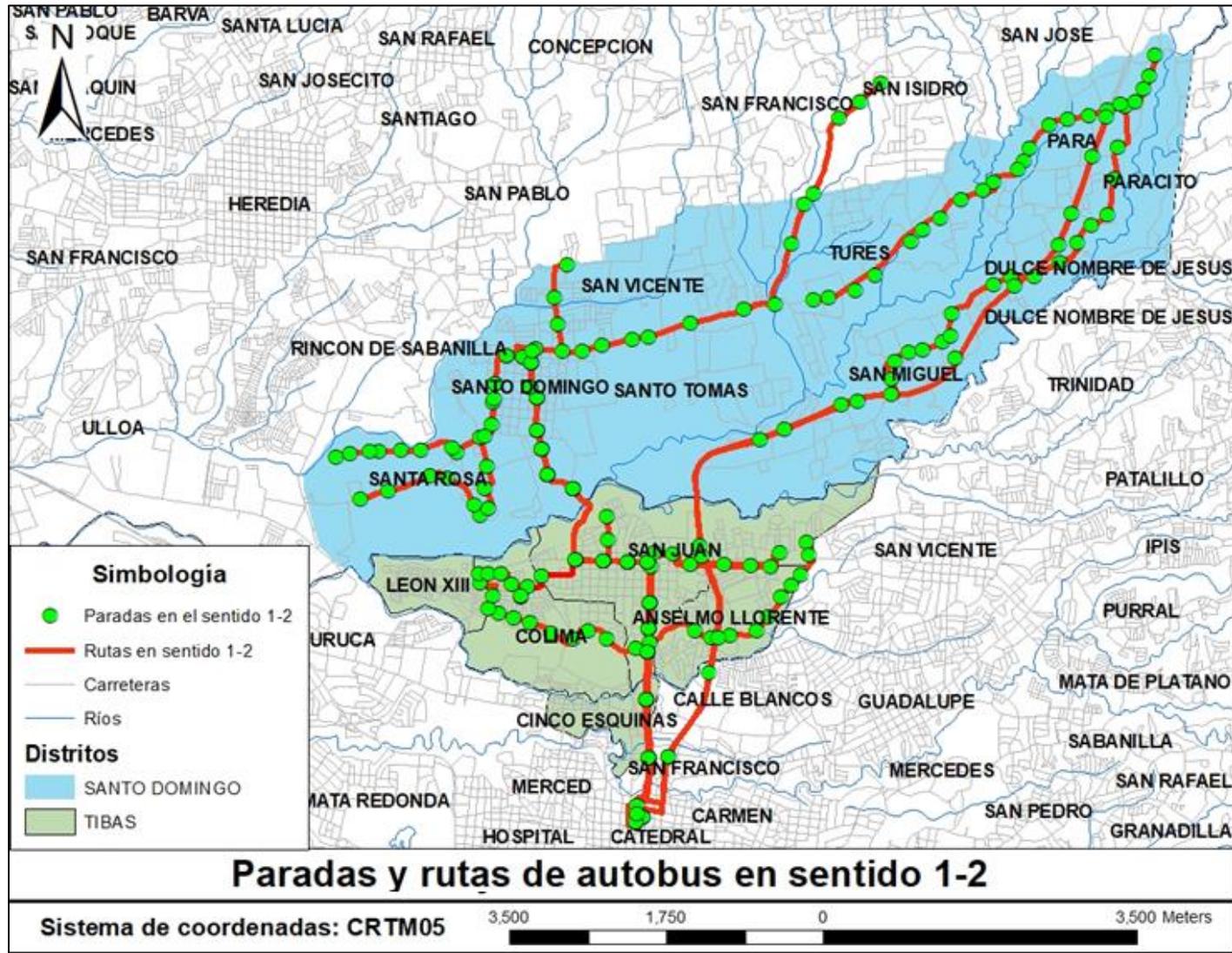
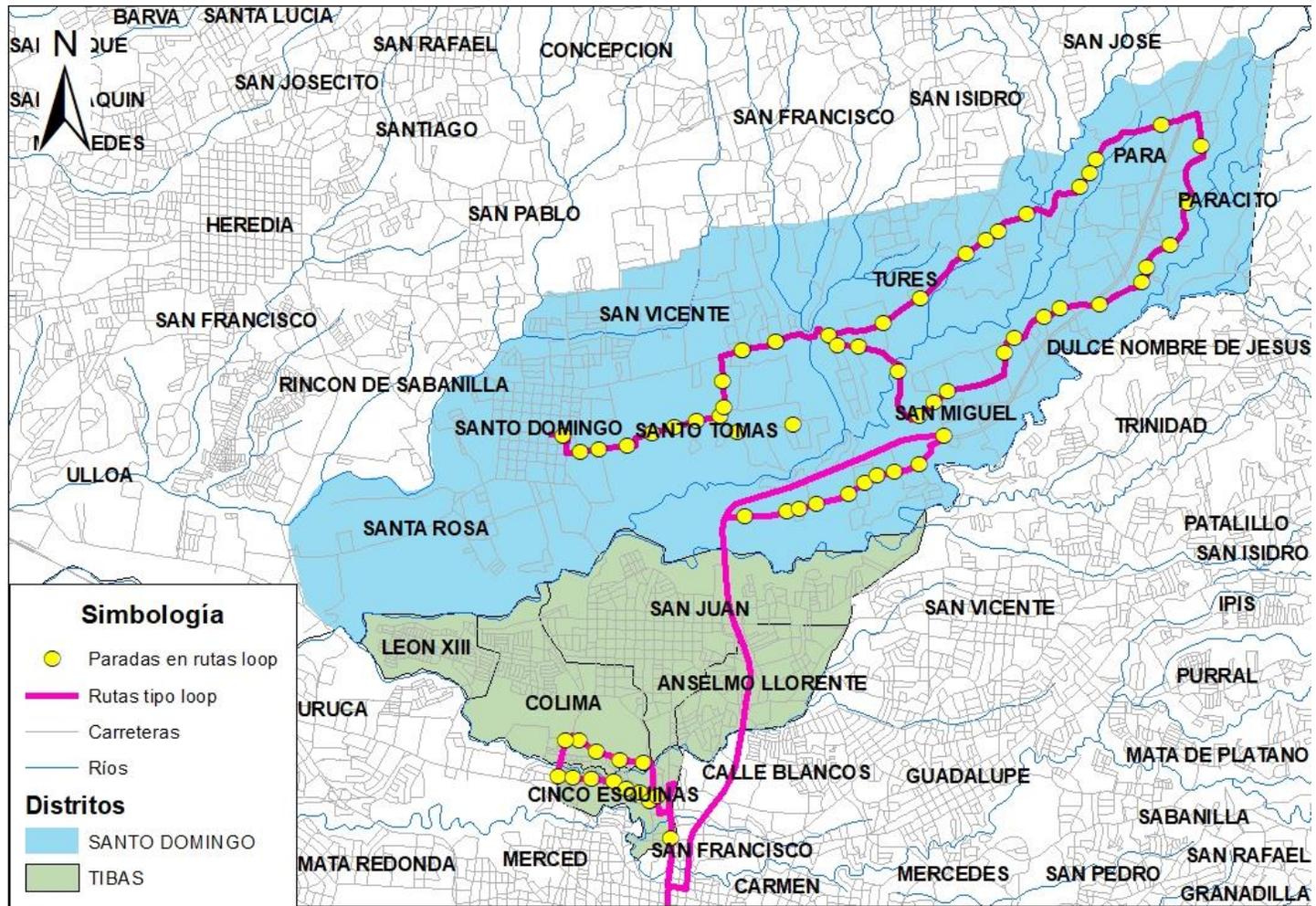


Figura 15. Mapa de paradas y rutas de autobús en sentido 1-2



### Paradas y rutas tipo circuito

Sistema de coordenadas: CRTM05



Figura 16. Mapa de paradas y rutas de autobús tipo circuito

Una vez definidas las rutas que conforman el sector Santo Domingo – Tibás, es importante delimitar la zona que estas abastecen en el territorio a analizar. Al ser la caminata la forma más común de arribar a las paradas del transporte público, se decidió analizar como zona abastecida por el sistema de transporte público aquella que cubra el área de mayor distancia a la cual el usuario está dispuesto a caminar.

Según Agüero Valverde & Rodríguez Gonzales (2017), en su publicación "*Walking distances from home to bus stops in San José, Costa Rica: real, perceived, and stated-preference distances*" establece que la distancia reales que los usuarios caminan hasta las paradas de autobús en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica son aproximadamente 255 m, 525 m y 740 m para los percentiles 50, 85 y 95 respectivamente. Contemplando estas distancias, en las siguientes figuras se muestran las zonas de abastecimiento del sector público, esto para ambos sentidos de la ruta.

Para el análisis no se consideraron aspectos como la facilidad para cruzar calles, la presencia de infraestructura peatonal como puentes o la calidad de las aceras, tampoco se catalogó el estado de las paradas de buses en la que los usuarios esperan el arribo de los vehículos, el principal criterio utilizado fueron las distancias y la continuidad de la red vial, todos estos aspectos pueden ser determinantes a la hora de decidir si usar el transporte público o privado. En el la Figura 17 se observa el área de servicio del transporte público, destacando con diferente tono de color rojo las diferentes distancias de influencia.

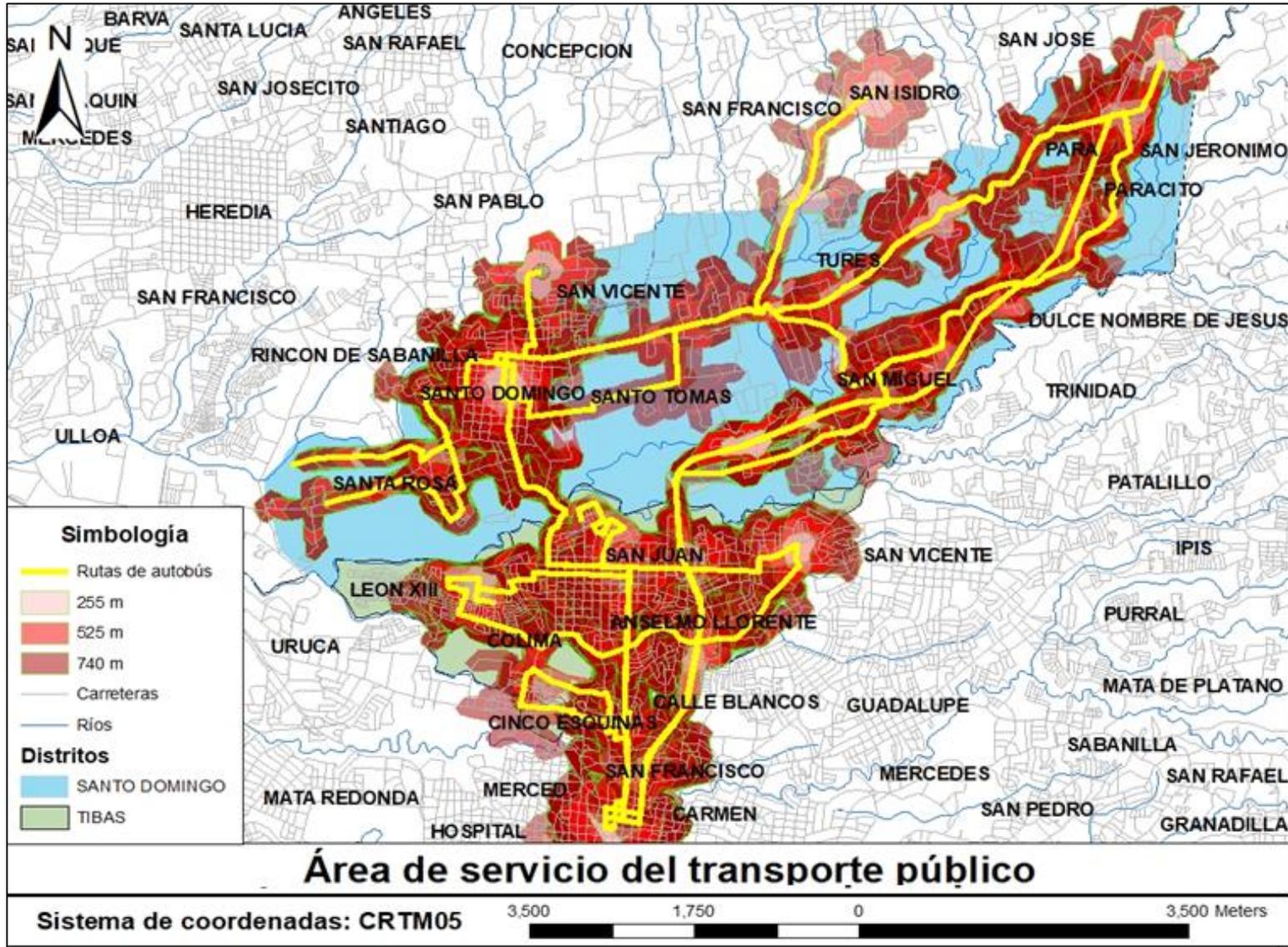


Figura 17. Mapa de área de servicio del transporte público

### **3.2. Características físicas del sector Santo Domingo – Tibás – San José**

Es importante tener una noción de las condiciones físicas que posee el sector a analizar, ya que estas influyen a la hora de seleccionar las rutas de los autobuses. En el Figura 18 se presenta el relieve y la hidrología del sector de estudio. Como se puede observar, el relieve más irregular se encuentra en las cuencas de los ríos, especialmente en el cantón de Santo Domingo, en dirección noreste. El río más importante de la zona es el río Virilla, el cual funciona como límite territorial entre los dos cantones, por lo que es atravesado por rutas importantes, como lo son la ruta 32 y la ruta 5. Cabe destacar que en este año 2020 se está realizando una ampliación al puente conocido como "Puente del Saprissa", esto sobre la ruta 32, lo cual se espera que disminuya.

En cuanto a infraestructura vial, como se observa en el Figura 19, la mayoría de la red posee solamente 2 carriles, generalmente uno en cada sentido, ya que en algunos tramos las carreteras son en un solo sentido, sin embargo, en las carreteras más transitadas existen tramos con 3 o 4 carriles, siendo la Carretera Braulio Carrillo (ruta 32) la que más carriles posee, con un total de 6. Uno de los principales problemas que existe en la red vial del sector analizado se produce justamente en la ruta 32, ya que luego del cruce del río Virilla, se produce una reducción de 4 carriles a solamente 2, lo que genera gran congestión en la zona y aumenta los tiempos de viajes de las rutas que transitan por esta carretera.



Figura 18. Mapa de ríos y relieve en la zona de estudio

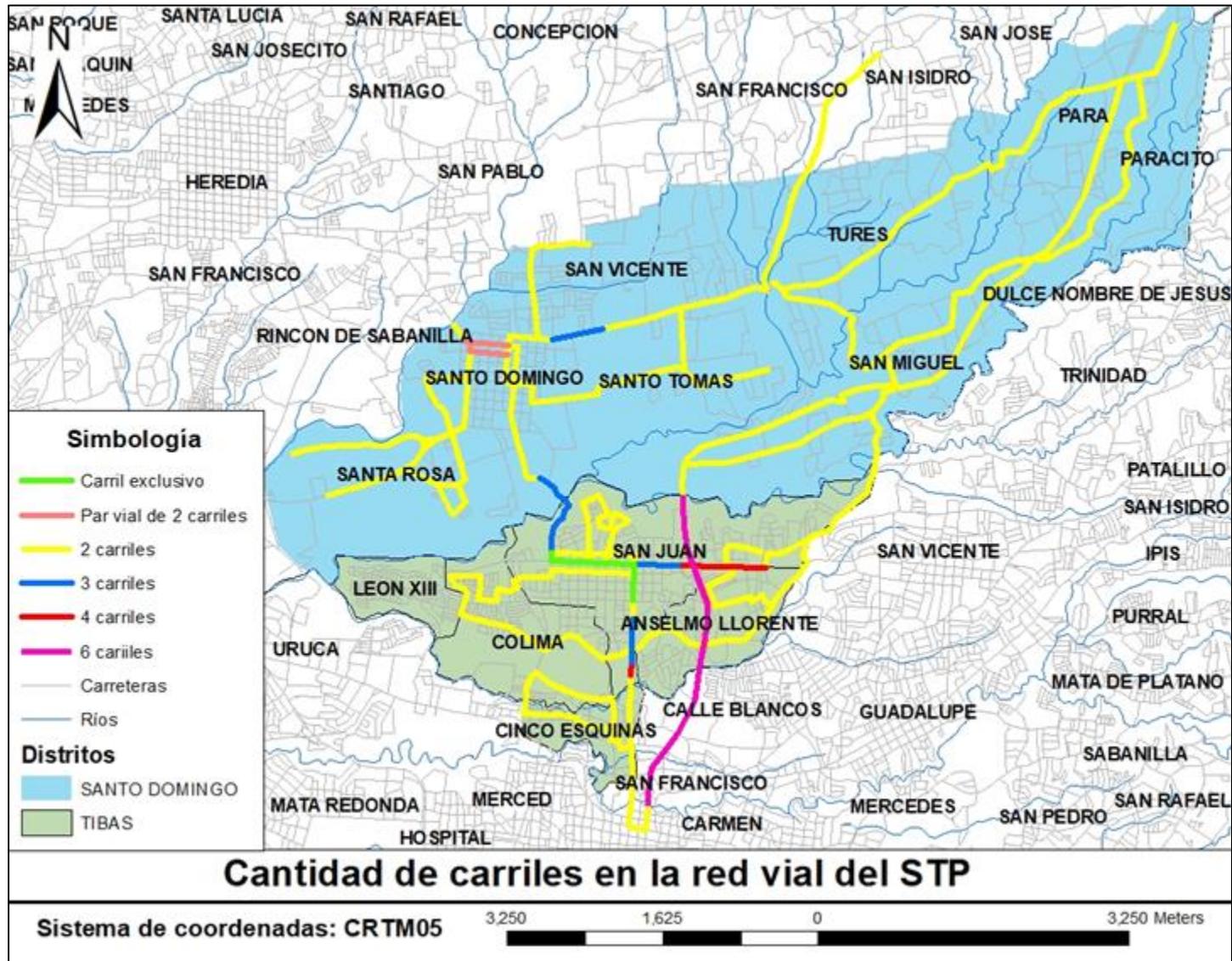


Figura 19. Mapa de cantidad de carriles en la red vial del STP

### 3.3. Manejo operativo de las rutas

Una vez definida las características físicas del sector de estudio, es importante exponer la forma operacional en que se maneja la red de transporte público. El sector Tibás – Santo Domingo se encuentra operado por 2 diferentes compañías, la ruta 400-A, la cual es llamada San José – Heredia, por Tibás y Santo Domingo, y es operada por la compañía Rápidas Heredianas; mientras que el resto de rutas están a cargo de la Cooperativa de autobuseros Nacionales y Asociados (COOPANA S.A).

El sector cuenta con carriles exclusivos para transporte público dentro del sector de estudio, el cual se destaca en la Figura 20, estos carriles se implementaron a partir del año 2017 y según información del ministerio de obras públicas y transporte el reordenamiento vial provoca un ahorro de hasta 20 minutos para el transporte público. Según datos de Ingeniería de Tránsito del MOPT unas 62.000 personas hacen uso diariamente del transporte público en la zona, mientras 30.000 utilizan vehículo particular, de ahí el interés por favorecer el transporte masivo en autobús al tiempo que se promueve el que los conductores de vehículos particulares hagan uso de vías que actualmente están subutilizadas. En la Figura 20 se detallan los cambios realizados en el centro del cantón de Tibás.



Figura 20. Carril exclusivo en el cantón de Tibás  
Fuente: MOPT, 2017

### 3.3.1 . Ruta 400-A

La ruta 400-A es una de las principales del sector de estudio, ya que es la que opera con la una mayor frecuencia y la que transporta mayor cantidad de pasajeros, sin embargo, es una de las más costosas a nivel de tarifa. Dicha ruta tiene su terminal, en el sentido San José-Heredia, en el cantón central de Heredia, específicamente sobre avenida ocho, entre calle 1 y calle Roosevelt, mientras que en el sentido opuesto la terminal se encuentra en el centro de la ciudad de San José, sobre calle 1, entre avenida 9 y avenida 7, por lo que es una de las principales carreteras para movilizarse del centro de la capital al centro de la ciudad de Heredia. En la Figura 21 se muestra las unidades de autobuses utilizadas en esta ruta, las cuales tienen una capacidad entre 40 y 60 pasajeros, esto dependiendo de la antigüedad de los vehículos. Cabe destacar que todas las unidades utilizadas por la Empresa Rápidas Heredianas cuentan con rampa de acceso para silla de ruedas y lector de cédulas de identidad, lo cual absuelve al adulto mayor del pago de la tarifa de autobús.



Figura 21. Unidad de autobús de la compañía Rápidos Heredianos  
Fuente: Autobuseros costarricenses, 2020

Es importante mencionar que esta ruta se comporta como una ruta troncal, ya que atraviesa por completo la ruta 5, la cual es la principal carretera del sector de estudio. Se puede relacionar la ruta 5 como la columna vertebral de la red, ya que la mayoría de las rutas deben circular por esta carretera. Otra característica que tiene esta ruta para funcionar como ruta troncal es la alta frecuencia que posee, ya que esto facilitaría la función operacional de la red. En la Figura 22 se observa el recorrido que realiza la ruta 400-A, con sus respectivas paradas.

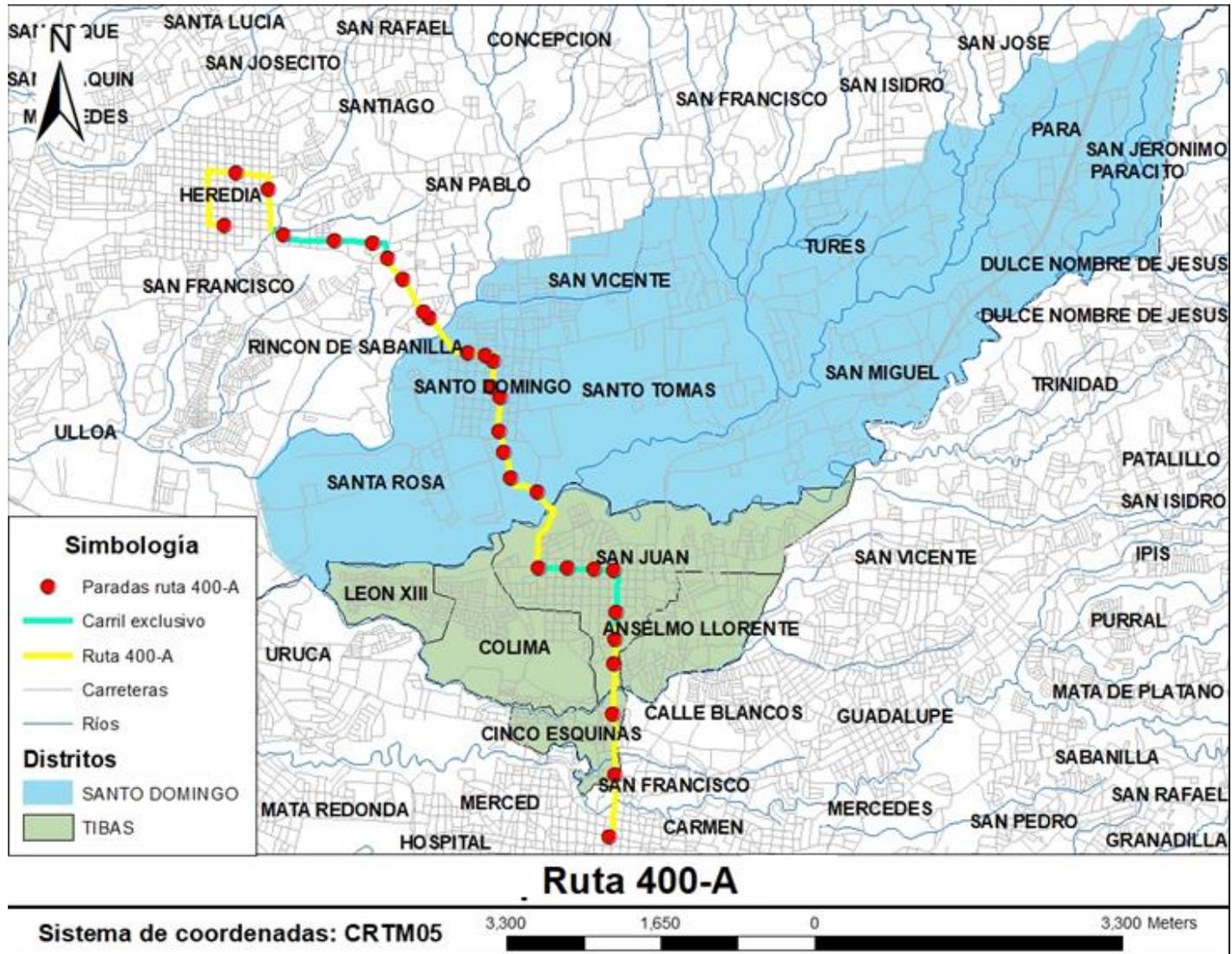


Figura 22. Ruta 400-A

Según datos de la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP), entre los meses de octubre 2018 y marzo 2020 la ruta presentó una demanda promedio mensual de 435654 pasajeros, alcanzando un máximo en el mes de marzo 2019 de 511975 usuarios, de los cuales 30459 pasajeros fueron adultos mayores, cabe destacar que la ruta presenta un promedio de 6.2% de usuarios adultos mayores. En el siguiente gráfico se muestra la demanda de pasajeros mensual de los meses antes mencionados.

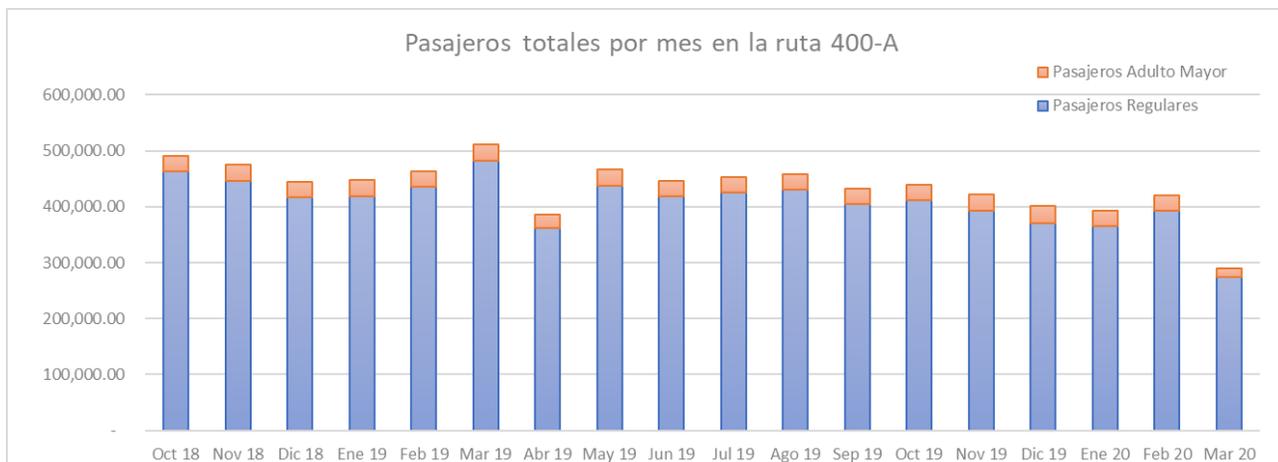


Figura 23. Pasajeros totales mensuales en ruta 400-A

Fuente: ARESEP, 2020

Los meses de abril 2020 en adelante no se toman en cuenta debido al efecto que tuvo la pandemia del COVID-19, como se puede observar en el siguiente gráfico la demanda sufrió una caída de más del 50 % para el mes de abril en comparación con el mes de febrero del mismo año.

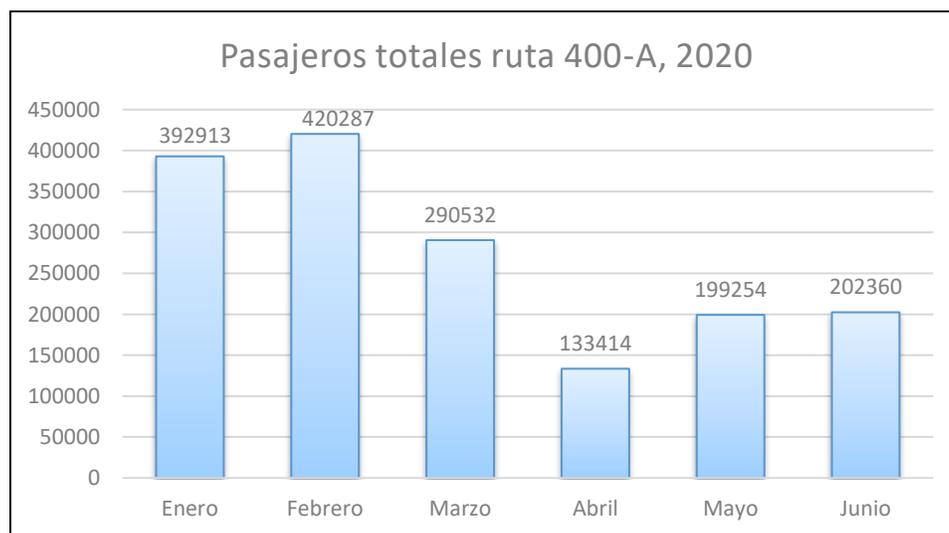


Figura 24. Pasajeros totales en ruta 400-A en el primer semestre 2020

Fuente: ARESEP, 2020

Como se mencionó anteriormente, la ruta 400-A cuenta con la frecuencia más alta de las rutas del corredor de estudio, es la única ruta que opera 24 horas al día, teniendo una frecuencia en horas de la madrugada de 60 min, a partir de las de 4 am y hasta las 5 am la frecuencia sube a 15 minutos, mientras que el resto de las horas de operación la frecuencia promedio es de 5 minutos.

### *3.3.2 Ruta 20*

El resto de rutas que conforman la red de transporte público del sector de estudio están a cargo de la Cooperativa de autobuseros Nacionales y Asociados (COOPANA S.A), la cual tiene su centro de operaciones en Santa Rosa de Heredia. Estas rutas son las encargadas de abastecer a la mayor parte de la población de los cantones de Santo Domingo y Tibás. En la siguiente imagen se muestra una imagen de los autobuses utilizados por esta empresa, los cuales tienen una capacidad máxima de 56 pasajeros por vehículo; dichos autobuses cuentan con rampa para discapacitados y lector de cédulas de identidad.



Figura 25. Autobús de las rutas COOPANA S.A

Estas rutas funcionarían como alimentadoras para un posible sistema troncalizado, ya que para llegar a su destino final en San José, todas deben circular por la ruta 5, por lo que se podrían hacer estaciones de intercambio a lo largo de la carretera para evitar que todos los autobuses tengan que entrar al centro de la ciudad. Al ser una sola empresa la que maneja las funciones operacionales de las rutas, facilita la gestión a la hora de poner en funcionamiento el sistema troncalizado. En la Figura 26 se puede observar las rutas operadas por COOPANA. En el cuadro 8 se presenta la tarifa que se cobra a los pasajeros regulares y los kilómetros recorridos por cada ramal, es importante

Cuadro 9. Tarifa y recorrido en ramales de ruta 20

<b>Descripción del ramal</b>	<b>Tarifa regular (₡)</b>	<b>Distancia recorrida, km (Aresep)</b>	<b>Distancia recorrida, km (Medida de campo)</b>
Barrio Lourdes-Quebradas-Santo Domingo-Tibás-San José	470	12.18	12
Barrio Virginia-Florida-Tibás-San José	305	5.36	5.50
Calle Higinia-Santo Tomás-Santo Domingo-San José	395	9.6	9.1
Florida-Llorente-San José	305	4.76	4.97
Florida-Tibás-San José	305	4.73	4.63
La Vigui-Santo Domingo-Tibás-San José	395	8.34	8.06
Las Juntas-San Luis-San José X Pista	415	11.78	12.40
Los Ángeles-San Luis-San Miguel-San José X Pista	415	16.47	16.50
Mega Súper-La Victoria-Santa Rosa-Santo Domingo-San José	395	10.25	10.40
San José-Almendros-Cuatro Reinas Por El Cruce	305	5.42	5.09
San José-Bajo Piuses	305	5.69	5.69
San José-Barrio Virginia-Barrio Socorro-Pista Urbano	415	12.81	14.10
San José-Cuatro Esquinas De San Miguel-Los Ángeles-Proyecto De Vivienda La Zamora	415	11.46	10.56
San José-Cuatro Reinas Por Tibás	305	4.98	5.13
San José-El Invu-Linda Vista	305	4.48	4.40
San José-Jardines-Santa Mónica	305	4.52	
San José-Tibás-Las Reinas-Cuatro Reinas	305	5.74	5
San Martín-Santa Rosa-Santo Domingo-San José	395	9.94	9.93
Santo Domingo-Santo Tomás-Los Ángeles-San Miguel-San Luis	300	18.98	18.30

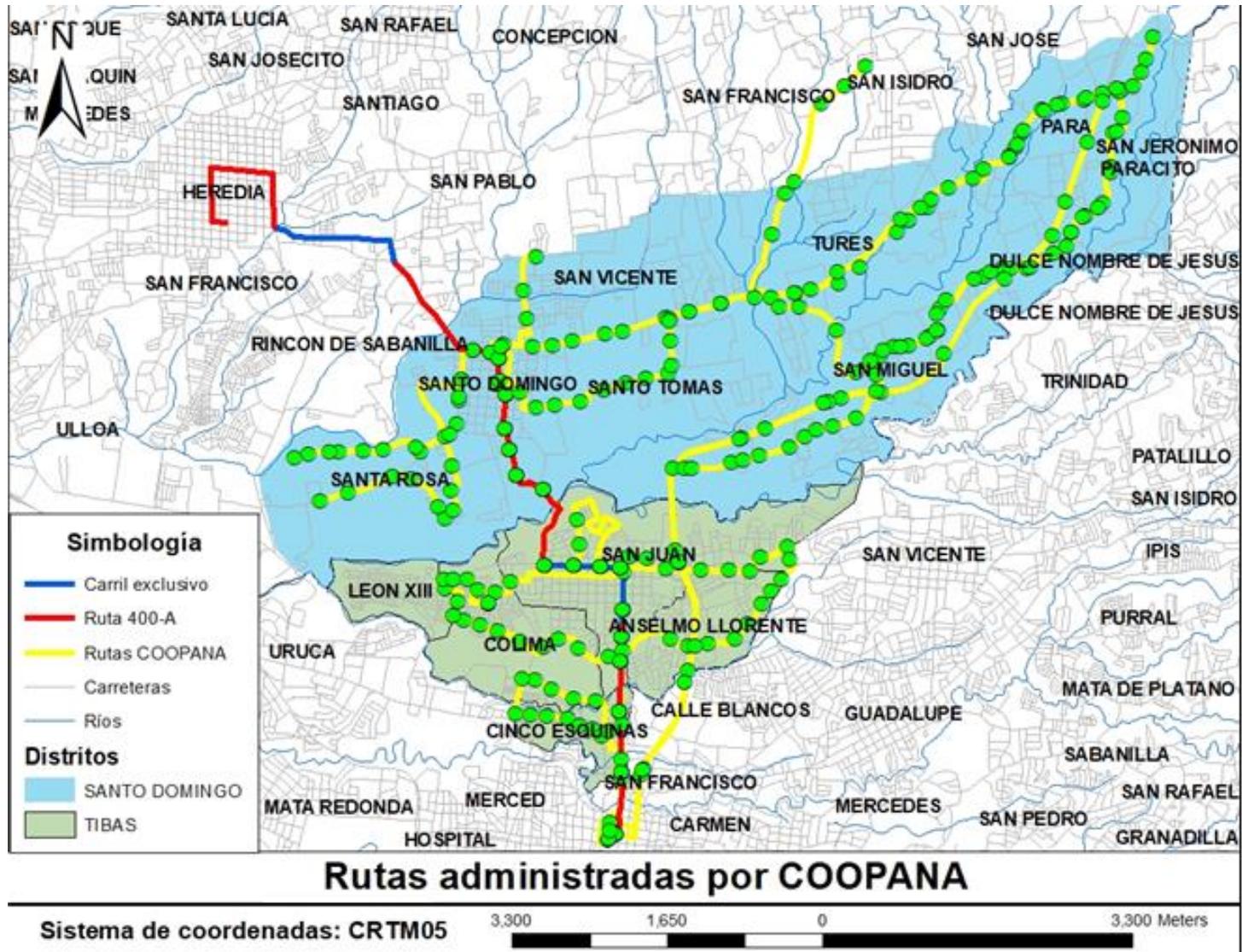


Figura 26. Rutas administradas por COOPANA S.A

Los ramales de la ruta 20 son los encargados de dar abasto a los barrios periféricos de los cantones de Santo Domingo y Tibás, debido a la diferencia de población y los diferentes puntos de generación de viajes hay grandes diferencias entre la demanda de un ramal con otro. En las Figuras de la 28 a la 46 se grafica la demanda mensual de cada uno de los ramales que posee la ruta 20, en cada una de las figuras se puede apreciar que el mes de mayor demanda en todos los ramales fue el mes de agosto del año 2019; en el Cuadro 10 se muestra la demanda de este mes para cada uno de los ramales.

Cuadro 10. Demanda de pasajeros para el mes de agosto 2019

<b>Descripción del ramal</b>	<b>Demanda</b>
Florida-Llorente-San José	170083
Florida-Tibás-San José	155848
San José-Cuatro Reinas Por Tibás	125595
San José-Almendros-Cuatro Reinas Por El Cruce	99498
Mega Súper-La Victoria-Santa Rosa-Santo Domingo-San José	95718
San José-Bajo Piuses	85125
Los Ángeles-San Luis-San Miguel-San José X Pista	81784
Barrio Lourdes-Quebradas-Santo Domingo-Tibás-San José	66809
San José-Tibás-Las Reinas-Cuatro Reinas	47439
La Vigui-Santo Domingo-Tibás-San José	36194
San José-Cuatro Esquinas De San Miguel-Los Ángeles-Proyecto De Vivienda La Zamora	34624
Las Juntas-San Luis-San José X Pista	31612
Santo Domingo-Santo Tomás-Los Ángeles-San Miguel-San Luis	31233
San Martín-Santa Rosa-Santo Domingo-San José	24183
San José-El Invu-Linda Vista	23183
Barrio Virginia-Florida-Tibás-San José	19479
San José-Barrio Virginia-Barrio Socorro-Pista Urbano	12144
San José-Jardines-Santa Mónica	5711
Calle Higinia-Santo Tomás-Santo Domingo-San José	3239

El recorrido Florida – Llorente - San José es el que mayor cantidad de pasajeros transporta, transportando un total de 170083 personas en el mes de agosto del 2019, esto se observa en la figura 30. En la Figura 32 se grafica la demanda de la segunda ruta que mayor cantidad de personas transporta siendo el ramal Florida - Tibás - San José, transportando un total de 155848 personas en el mes de agosto del 2019.

Para el caso del cantón de Santo Domingo, para el mes de agosto del 2019 el ramal que mayor demanda produjo fue Mega Súper-La Victoria-Santa Rosa-Santo Domingo-San José

con un total de 95718, siendo la numero cinco en comparación con los otros ramales, lo cual se grafica en la figura 35. En el otro extremo, la ruta que menos pasajeros transporta es la ruta de Calle Higinia-Santo Tomás-Santo Domingo-San José, transportando un mínimo de 3350 usuarios en enero del 2020.

Debido a la situación que se vivió en el año 2020 solo se tomará como meses representativos hasta marzo del 2020 ya que fue en el mes de abril de dicho año cuando se dio la mayor afectación en la demanda del servicio, esto se puede notar en la figura 16, donde se observa que la demanda total acumulada de todos los ramales de la ruta 20 cayó de más de 1000000 de personas en el mes de febrero a cerca de 400000 en el mes de abril, teniendo un poco recuperación en el mes de mayo pero sin ni siquiera acercarse a los valores de demanda pre-Covid, todos estos datos se muestran en la Figura 27.

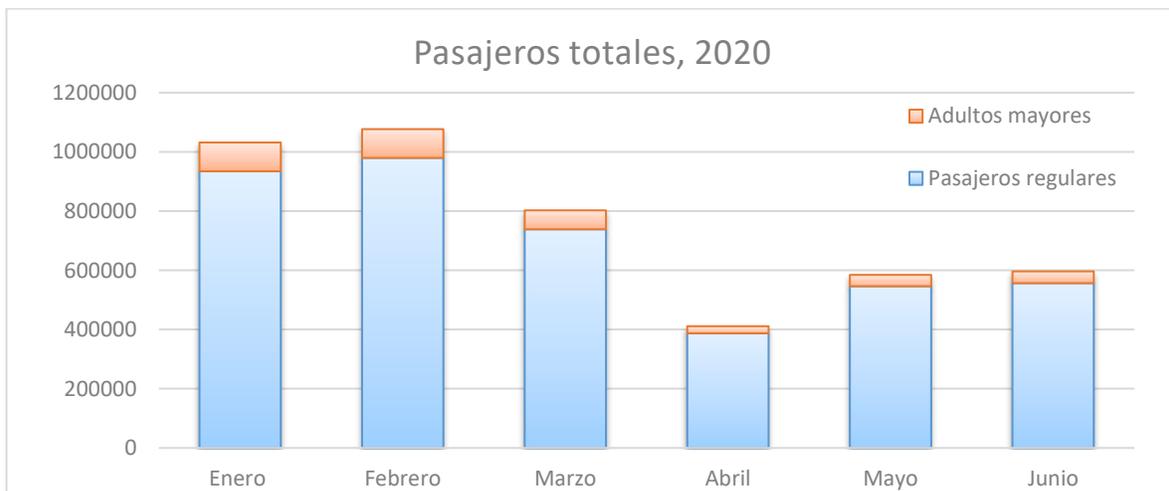


Figura 27. Demanda total en la ruta 20 para el primer semestre del 2020

En estas rutas se presenta un promedio de 7 % de población adulta mayor que utiliza el servicio de autobús, siendo el ramal Florida-Llorente-San José el que más adultos mayores moviliza, con una demanda máxima en el mes de diciembre de 13790 usuarios de la tercera edad.

Se debe de hacer una distinción en las rutas tipo circuito que se presentan en el sector de estudio, ya que estas tienen un comportamiento diferente a la hora de ser analizadas, esto debido a que solo presentan un sentido de ruta. Las rutas que presentan esta características son: San José-Bajo Piuses, San José-Barrio Virginia-Barrio Socorro-Pista Urbano y Santo

Domingo-Santo Tomás-Los Ángeles-San Miguel-San Luis, identificadas con el código K,L y S respectivamente. En el Cuadro 11 se muestra una codificación que se utilizará para los ramales de la ruta 20.

Cuadro 11.Codificación para los ramales de la Ruta 20.

<b>Descripción del ramal</b>	<b>Código</b>
Barrio Lourdes-Quebradas-Santo Domingo-Tibás-San José	A
Barrio Virginia-Florida-Tibás-San José	B
Calle Higinia-Santo Tomás-Santo Domingo-San José	C
Florida-Llorente-San José	D
Florida-Tibás-San José	E
La Vigui-Santo Domingo-Tibás-San José	F
Las Juntas-San Luis-San José X Pista	G
Los Ángeles-San Luis-San Miguel-San José X Pista	H
Mega Súper-La Victoria-Santa Rosa-Santo Domingo-San José	I
San José-Almendros-Cuatro Reinas Por El Cruce	J
San José-Bajo Piuses	K
San José-Barrio Virginia-Barrio Socorro-Pista Urbano	L
San José-Cuatro Esquinas De San Miguel-Los Ángeles-Proyecto De Vivienda La Zamora	M
San José-Cuatro Reinas Por Tibás	N
San José-El Invu-Linda Vista	O
San José-Jardines-Santa Mónica	P
San José-Tibás-Las Reinas-Cuatro Reinas	Q
San Martín-Santa Rosa-Santo Domingo-San José	R
Santo Domingo-Santo Tomás-Los Ángeles-San Miguel-San Luis	S

En las Figuras de la 47 a la 52 se grafican las demandas de cada ramal para cada mes de estudio, se puede observar como todas siguen una tendencia similar, sin tener cambios radicales entre un mes u otro. Como se puede observar, siempre el ramal de Florida – Llorente - San José mantuvo el primer puesto en demanda seguido por el de Florida – Tibás - San José, mientras que el más bajo siempre fue el ramal de Calle Higinia-Santo Tomás-Santo Domingo-San José.

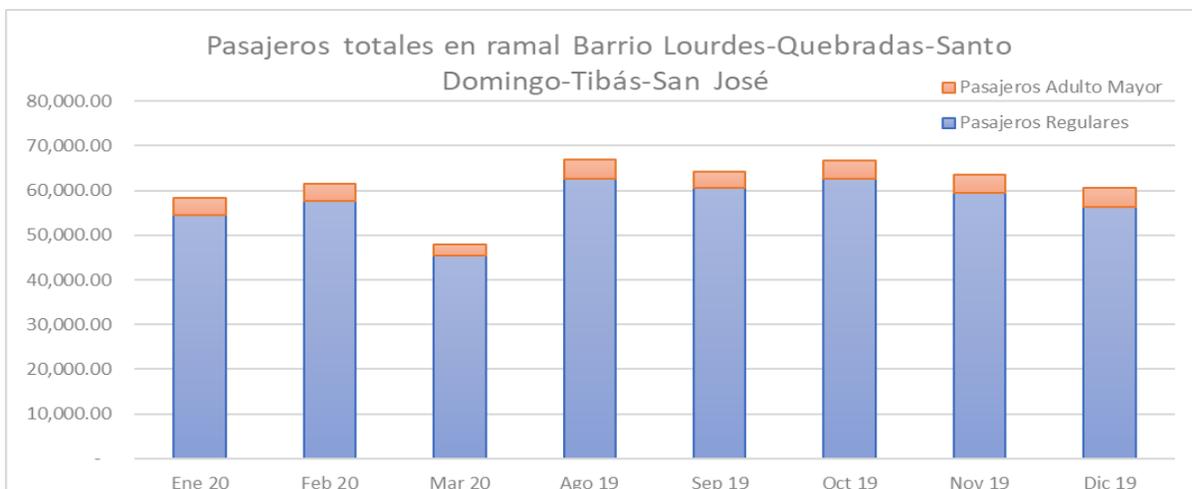


Figura 28. Demanda de pasajeros en ramal A (Quebradas – Santo Domingo – San Jose)

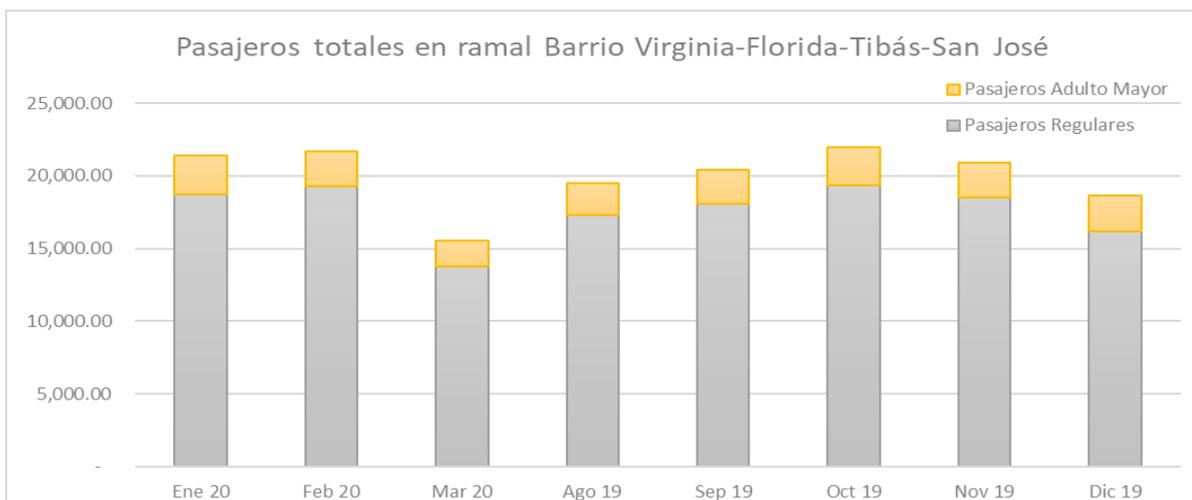


Figura 29. Demanda de pasajeros en ramal B (Barrio Virginia – Florida – Tibás – San Jose)

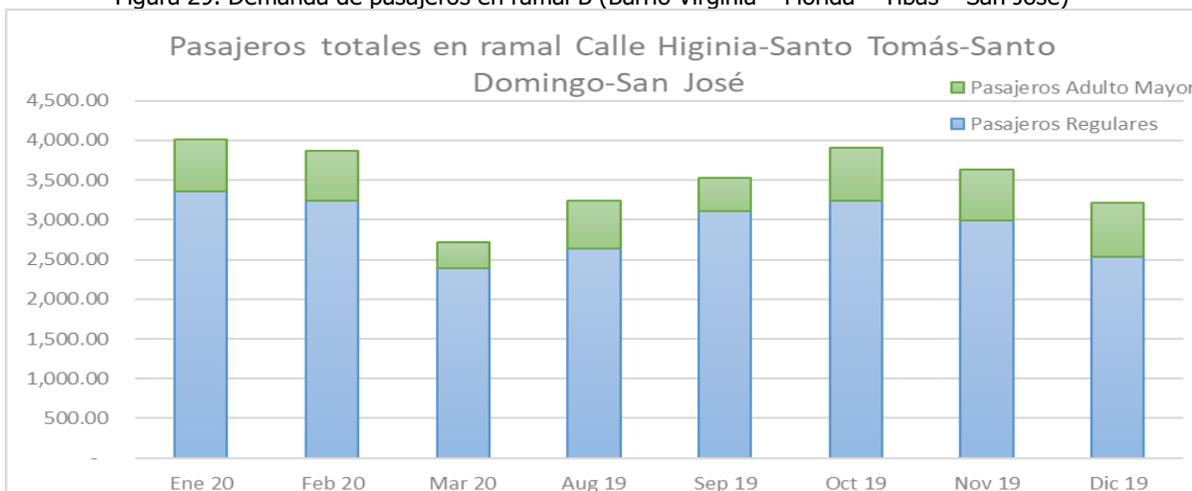


Figura 30. Demanda de pasajeros en ramal C (Calle Higinia – Santo Tomás – Santo Domingo- San José)

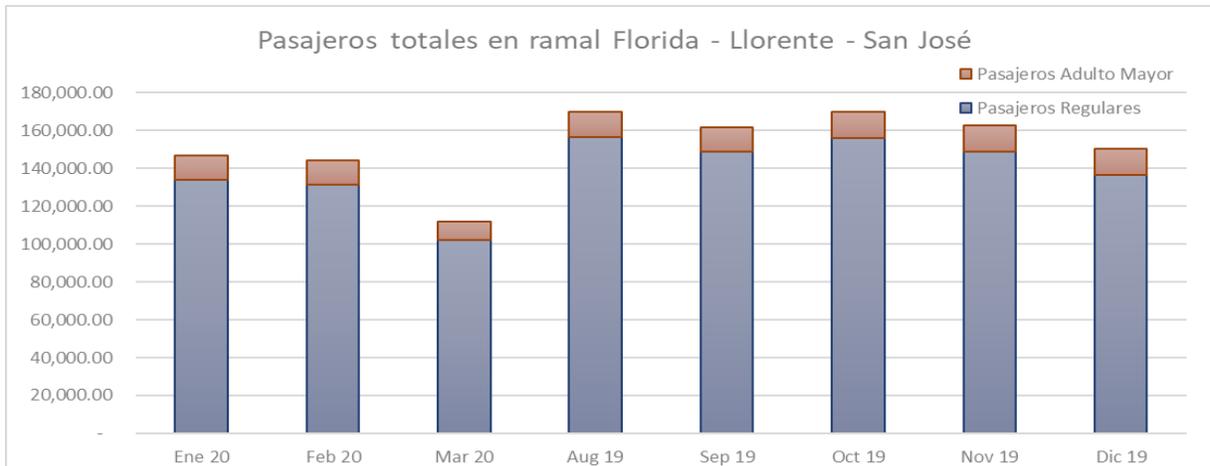


Figura 31. Demanda de pasajeros en ramal D (Florida – Lorente – San José)

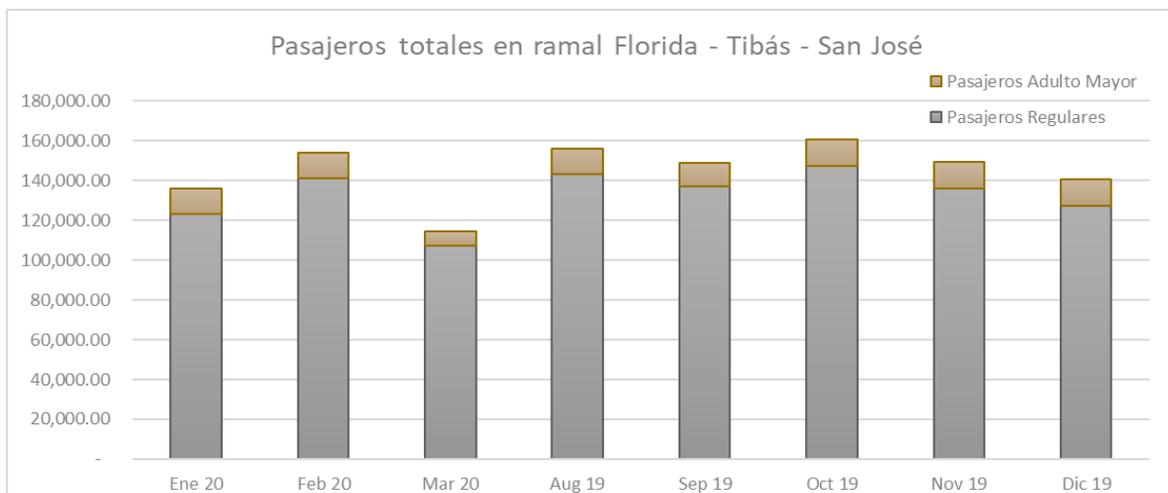


Figura 32. Demanda de pasajeros en ramal E (Florida – Tibás – San José)

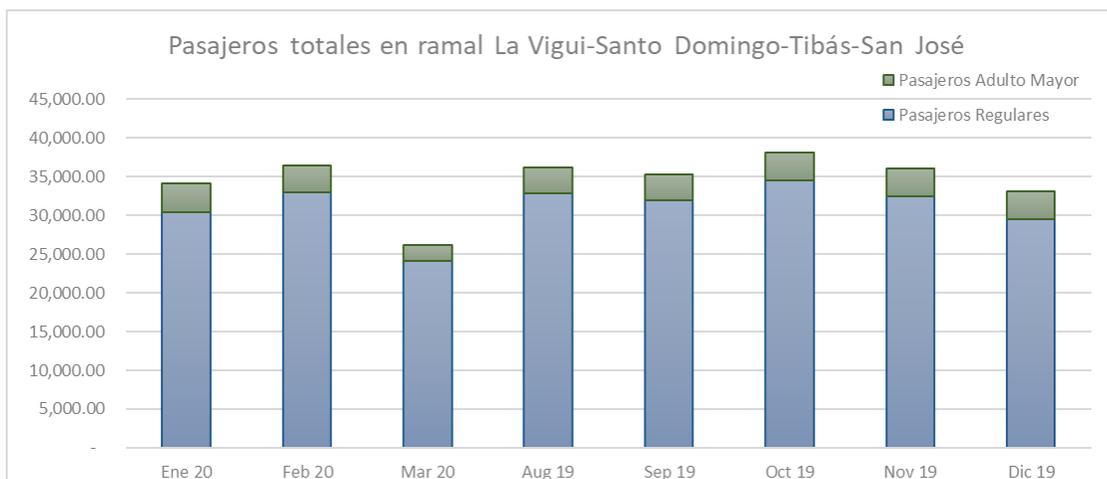


Figura 33. Demanda de pasajeros en ramal F (La Vigui – Santo Domingo – San José)

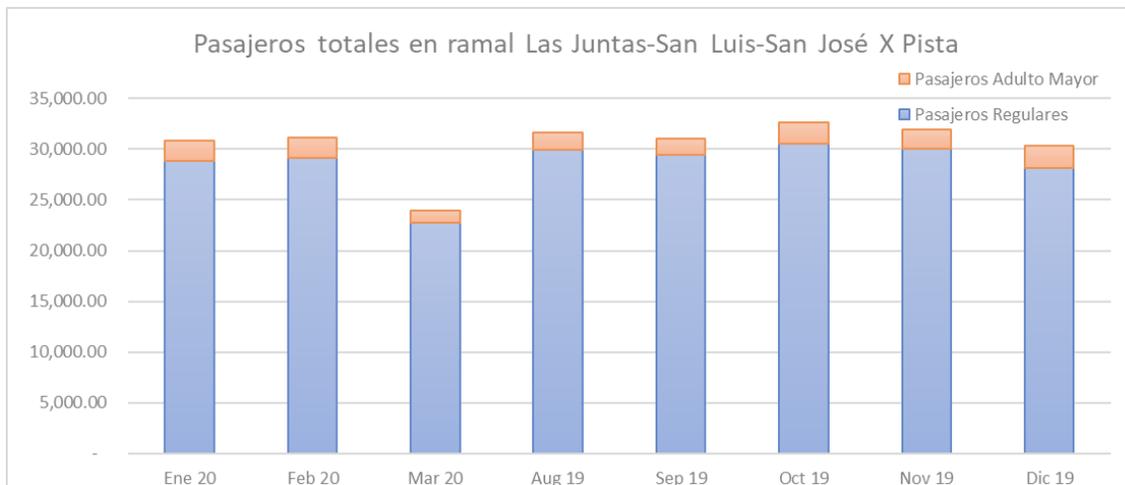


Figura 34. Demanda de pasajeros en ramal G (Las Juntas – San Luis – San Jose x pista)

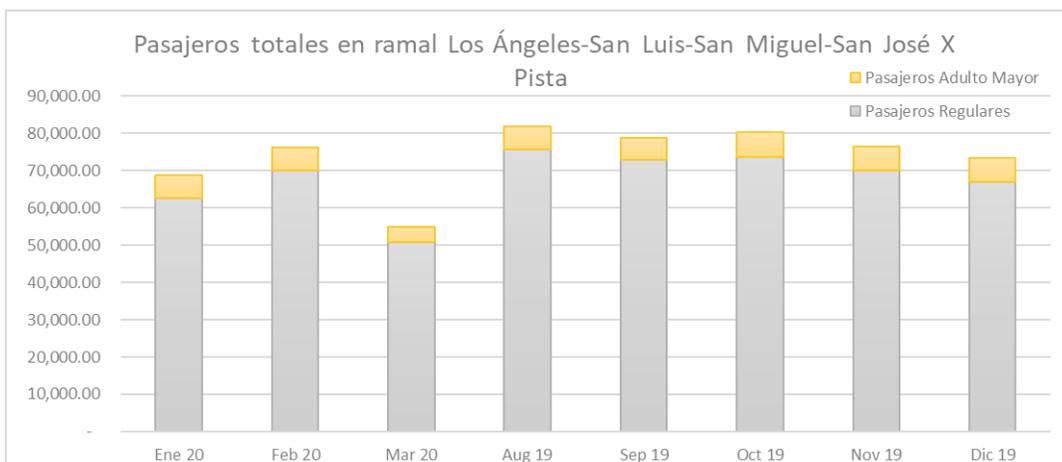


Figura 35. Demanda de pasajeros en ramal H (Los Ángeles – San Luis – San Miguel – San Jose x pista)

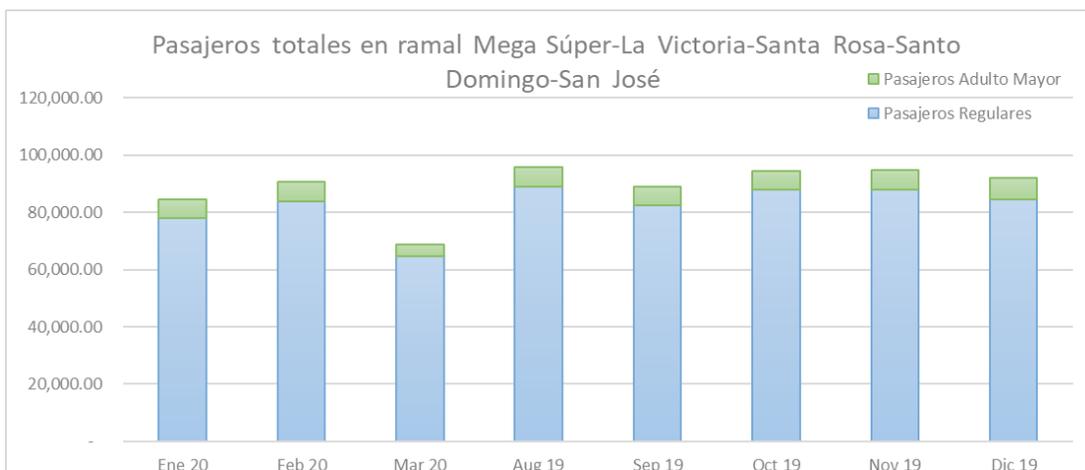


Figura 36. Demanda de pasajeros en ramal I (Mega Super – La Victoria – Santo Domingo– San José)

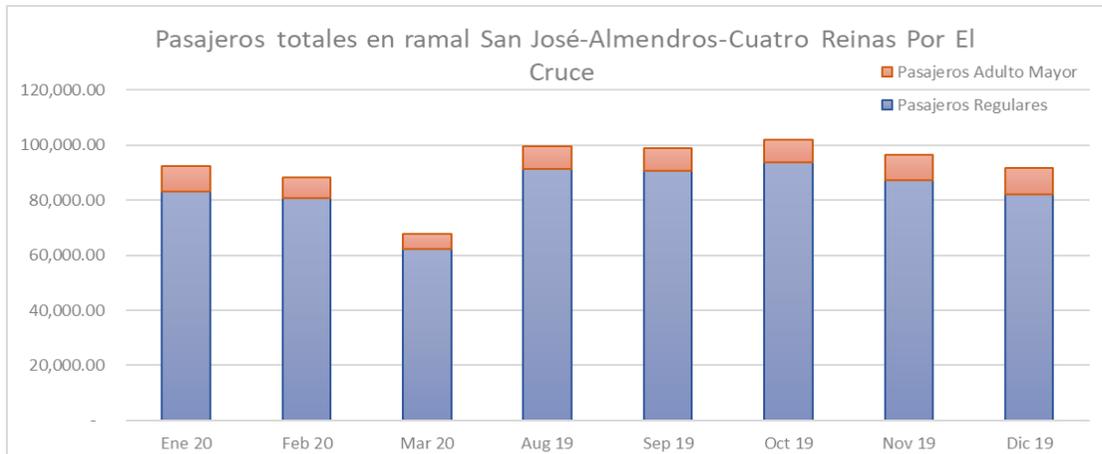


Figura 37. Demanda de pasajeros en ramal J (San José – Almendros – Cuatro Reinas por el cruce)

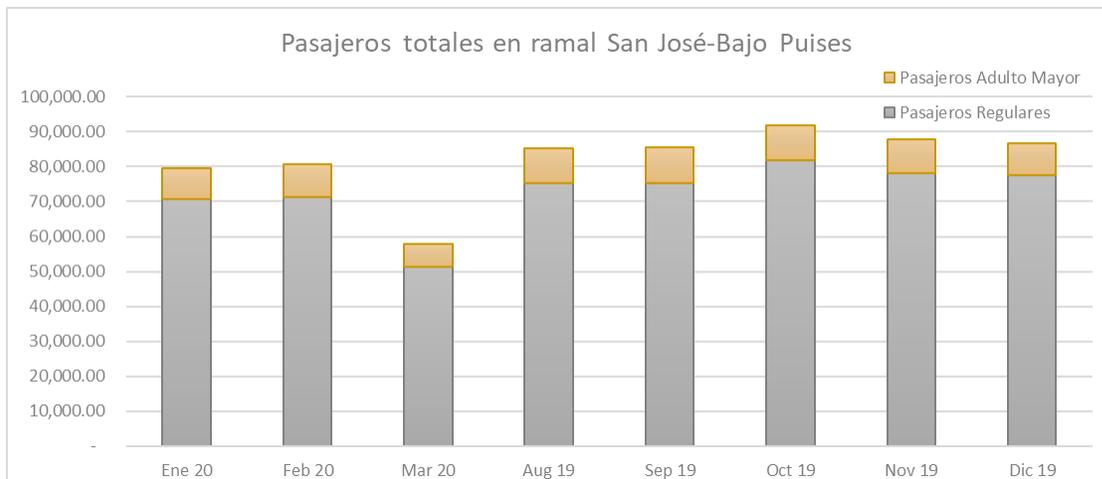


Figura 38. Demanda de pasajeros en ramal K (San José – Bajo Puiques)

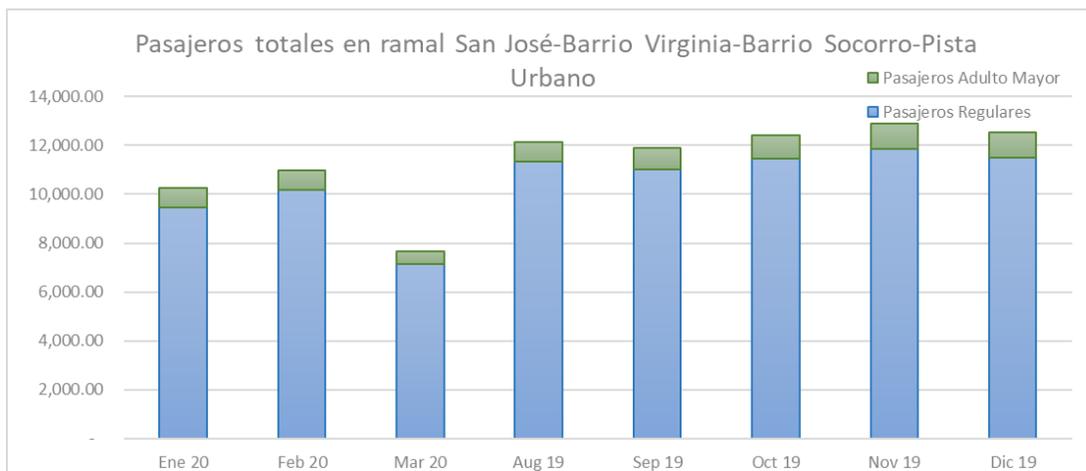


Figura 39. Demanda de pasajeros en ramal L ( San José – Barrio Virginia – Barrio Socorro)

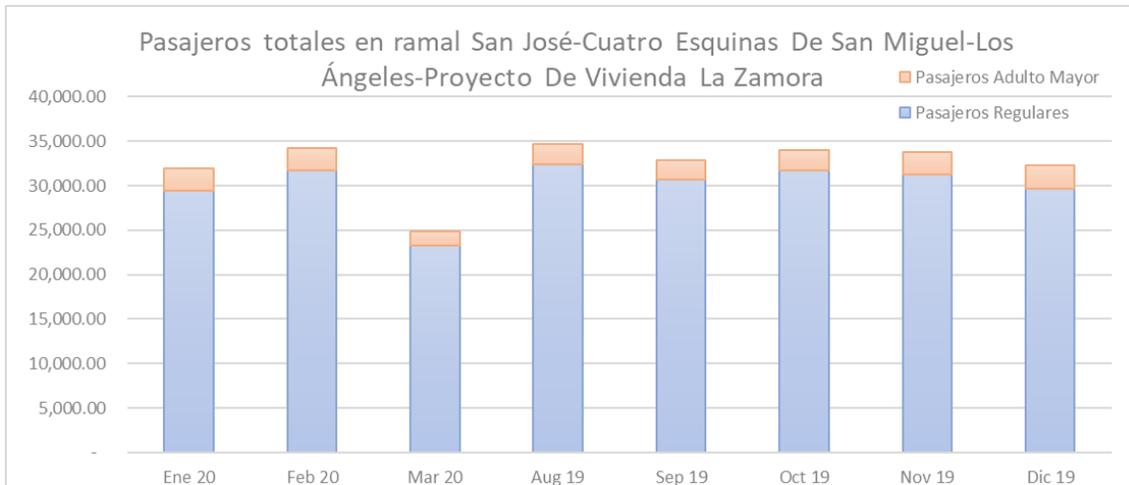


Figura 40. Demanda de pasajeros en ramal M (San José – San Miguel – La Zamora)

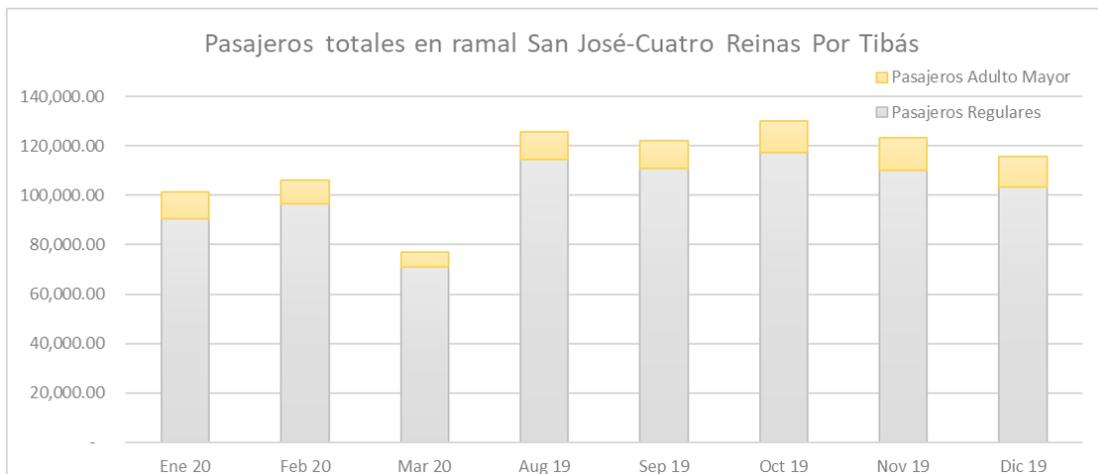


Figura 41. Demanda de pasajeros en ramal N (San José – Cuatro Reinas por Tibás)

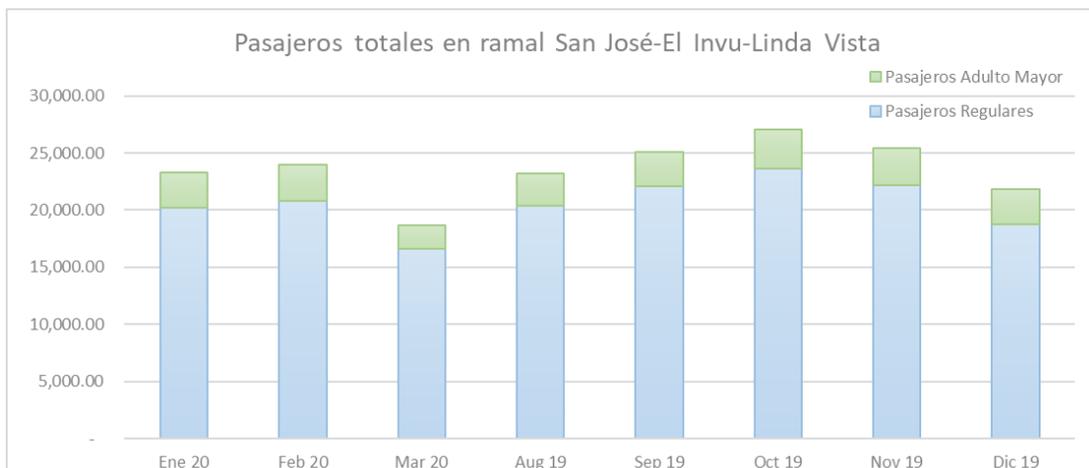


Figura 42. Demanda de pasajeros en ramal O (San José – El INVU – Linda Vista)

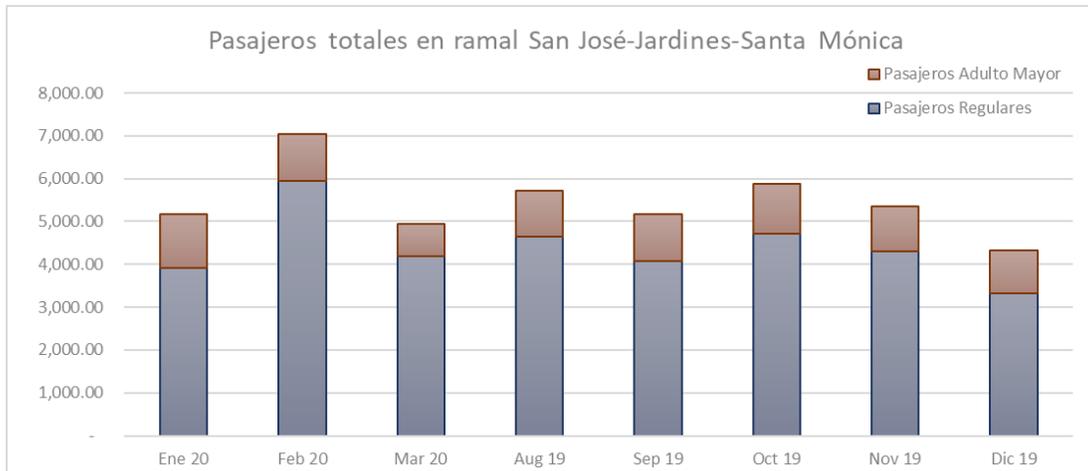


Figura 43. Demanda de pasajeros en ramal P (San José – Jardines – Santa Monica)

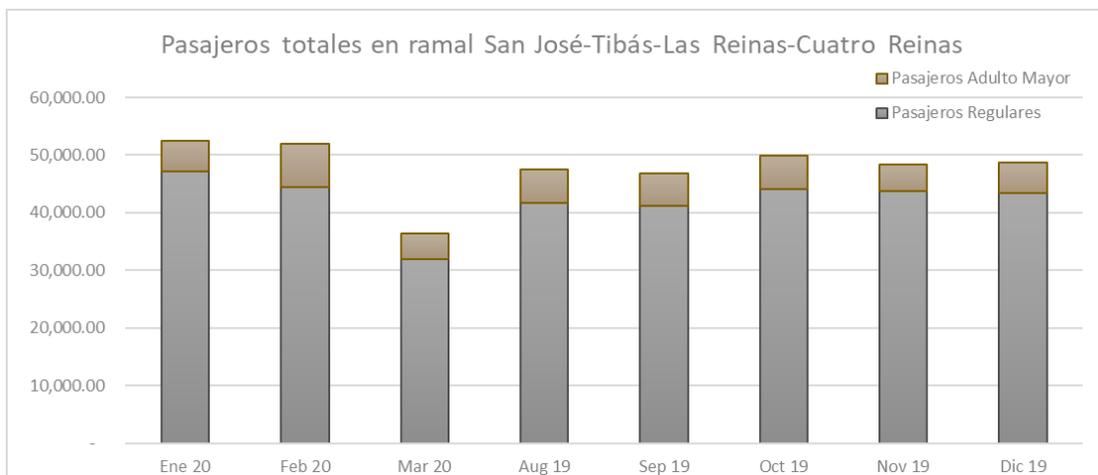


Figura 44. Demanda de pasajeros en ramal Q (San José – Las Reinas – Cuatro Reinas)

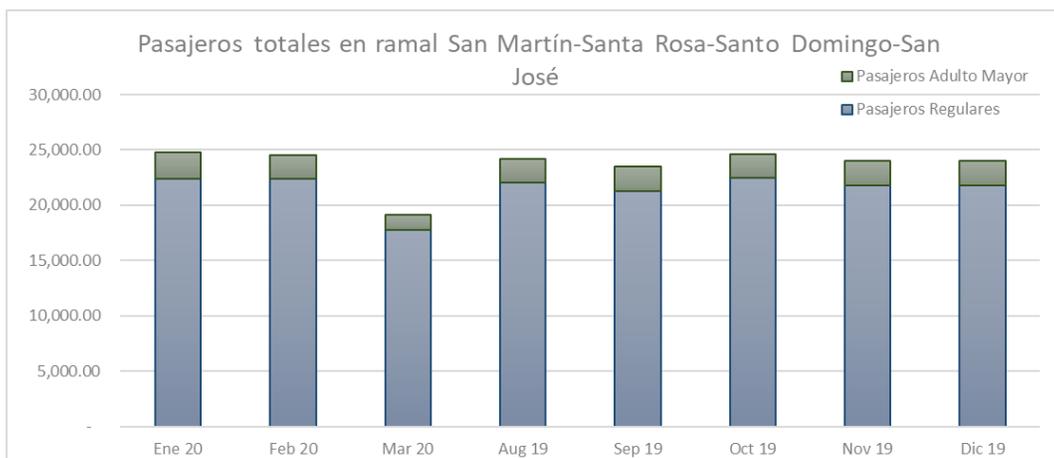


Figura 45. Demanda de pasajeros en ramal R (San Martín – Santa Rosa – Santo Domingo - San Jose)

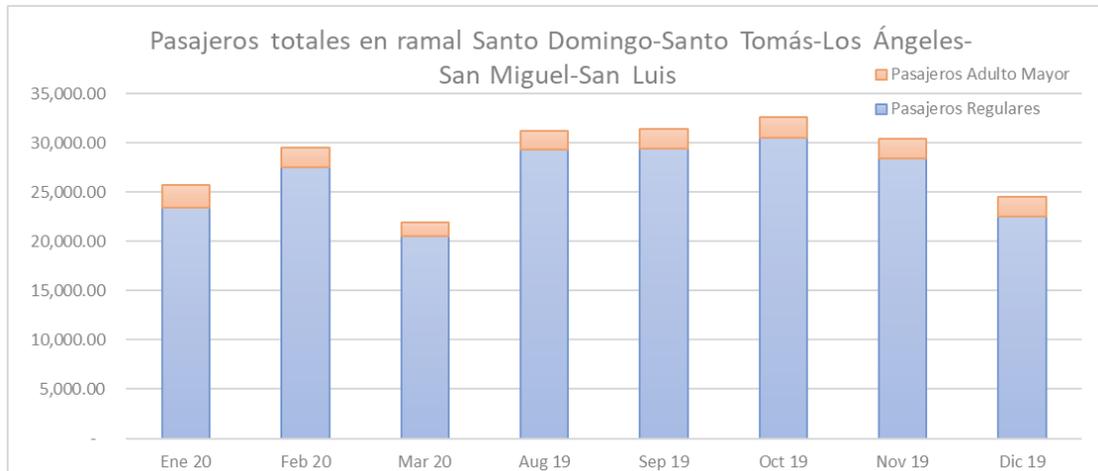


Figura 46. Demanda de pasajeros en ramal S (Santo Domingo – Santo Tomás – Los Ángeles – San Miguel)



Figura 47. Demanda de pasajeros en el mes de enero 2020

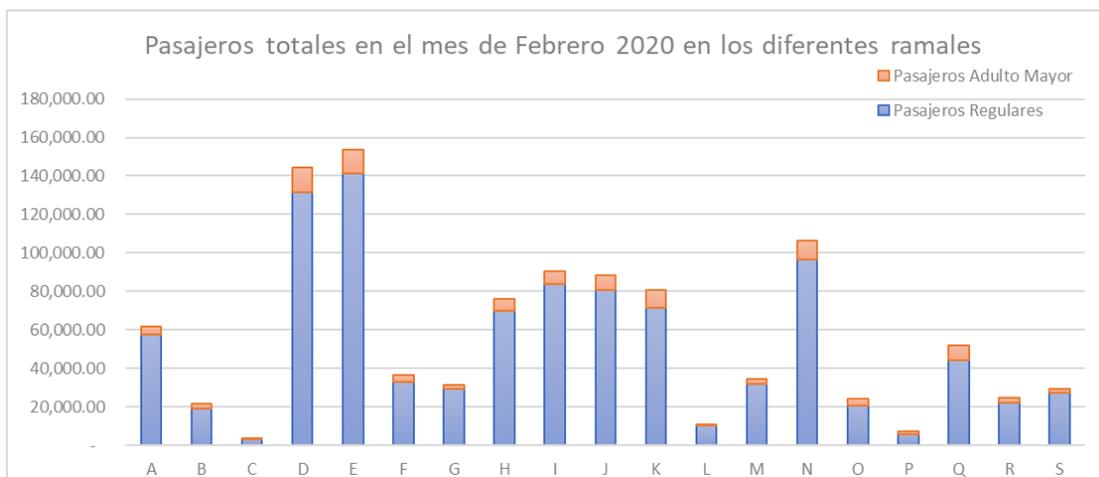


Figura 48. Demanda de pasajeros en el mes de febrero 2020



Figura 49. Demanda de pasajeros en el mes de marzo 2020

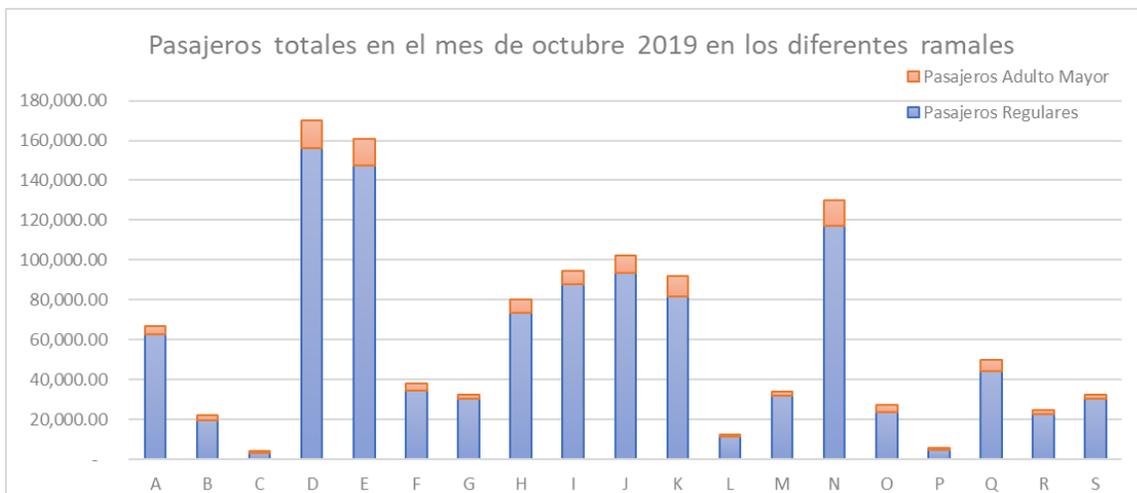


Figura 50. Demanda de pasajeros en el mes de octubre 2019

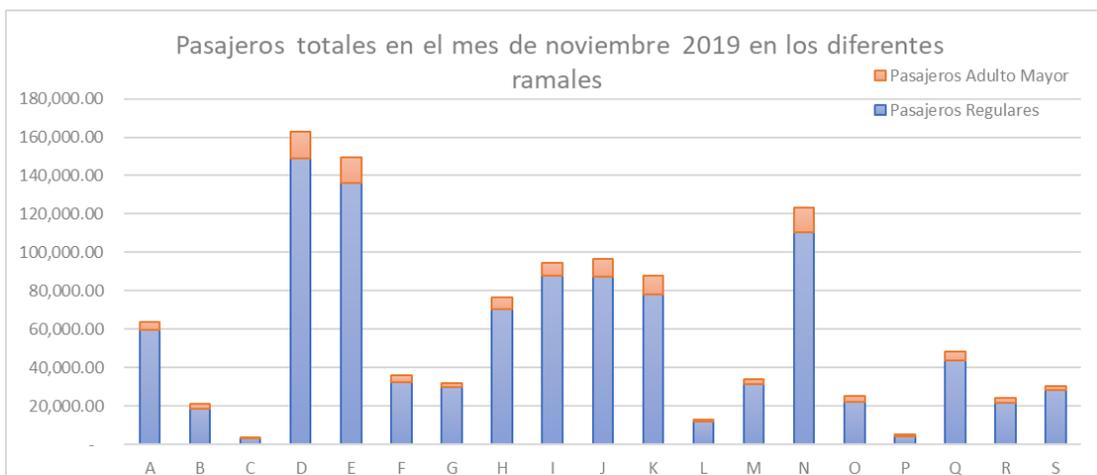


Figura 51. Demanda de pasajeros en el mes de noviembre 2019

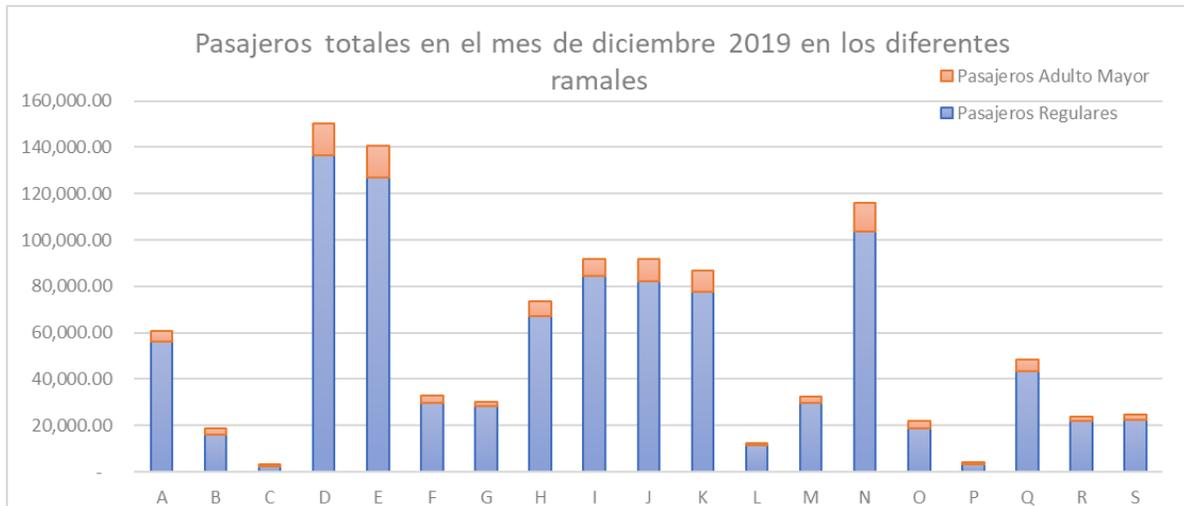
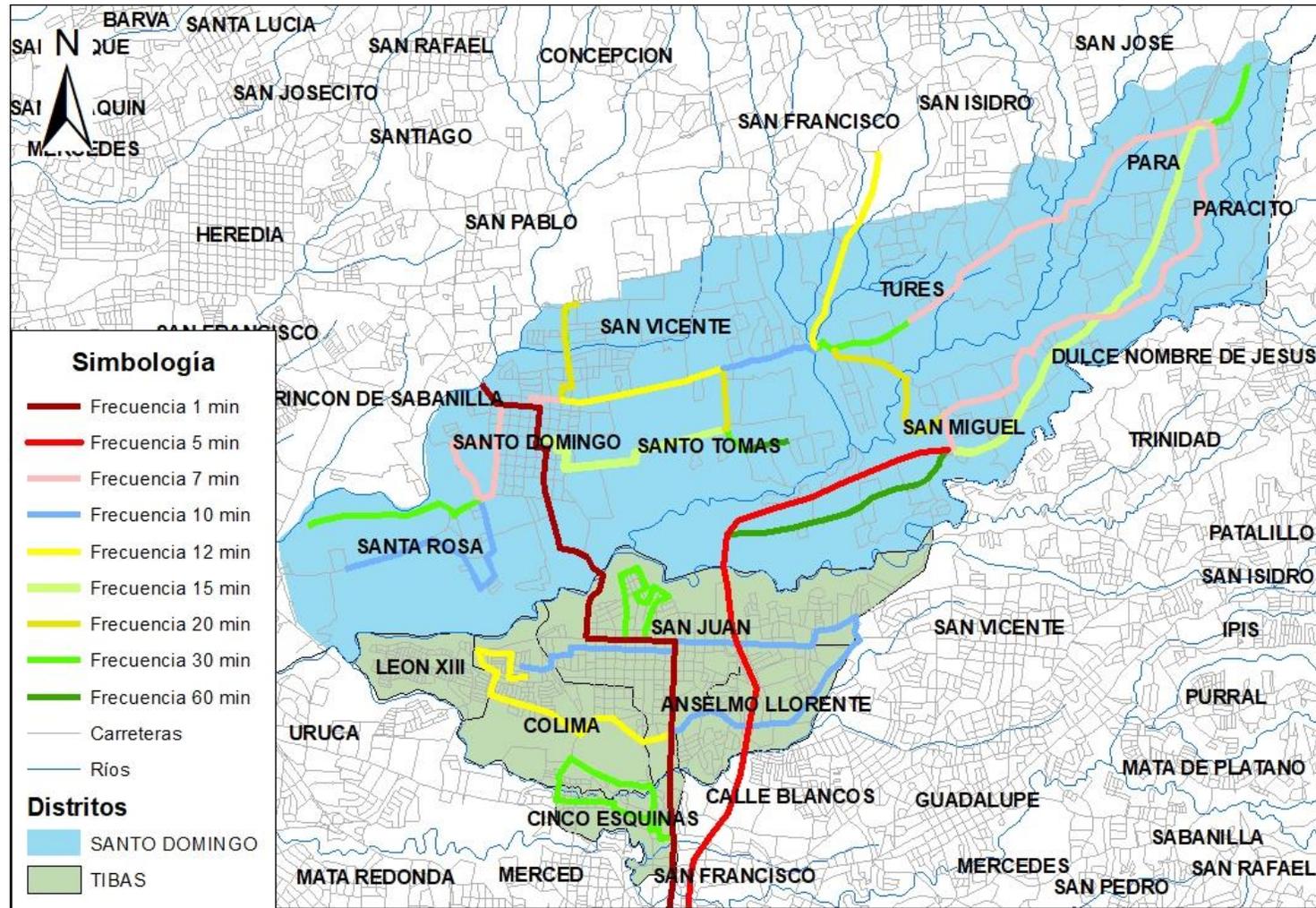


Figura 52. Demanda de pasajeros en el mes de diciembre 2019

La frecuencia es un elemento que está altamente relacionado con la demanda de cada ramal, como podemos observar en el cuadro 12, aquellos ramales que tienen una baja demanda como lo es Barrio Virginia-Florida-Tibás-San José y Calle Higinia-Santo Tomás-Santo Domingo-San José tienen una frecuencia baja, de hasta 30 a 60 min, mientras que los ramales con mayor demanda como Florida-Llorente-San José y San José-Cuatro Reinas Por Tibás tienen frecuencias que van desde los 8 min hasta los 15 min. Tanto la frecuencia que manejan las rutas como su demanda son características que se toman en cuenta a la hora de decidir rutas troncales y rutas secundarias.

En la Figura 53 se presentan los diferentes tramos de carretera del sector de estudio diferenciados por la frecuencia de autobuses reportadas por el operador. Debido a que el sistema actual de transporte público no se encuentra organizado correctamente, se producen duplicidades de servicios en las carreteras, especialmente en las vías principales, por lo que para conocer la frecuencia real de cada tramo de carretera se debe tener la cantidad total de autobuses que utiliza dicho tramo en la hora pico, esto sumando lo que aporta cada ramal a cada tramo de carretera. Cabe mencionar que para este estudio se utilizó la hora pico de la mañana, la cual es entre 6 am y 7 am, esto tomando como referencia la hora pico de la ruta 400 - A, la cual funcionaría como ruta troncal en un esquema troncalizado, sin embargo se notó que la mayoría de las rutas tenían el mayor número de salidas a esta hora.



### Frecuencia de autobuses en en el sector de estudio

Sistema de coordenadas: CRTM05 3,250 1,625 0 3,250 Meters

Figura 53. Frecuencia de autobuses reportada por el operador para cada tramo de carretera en el sector de estudio

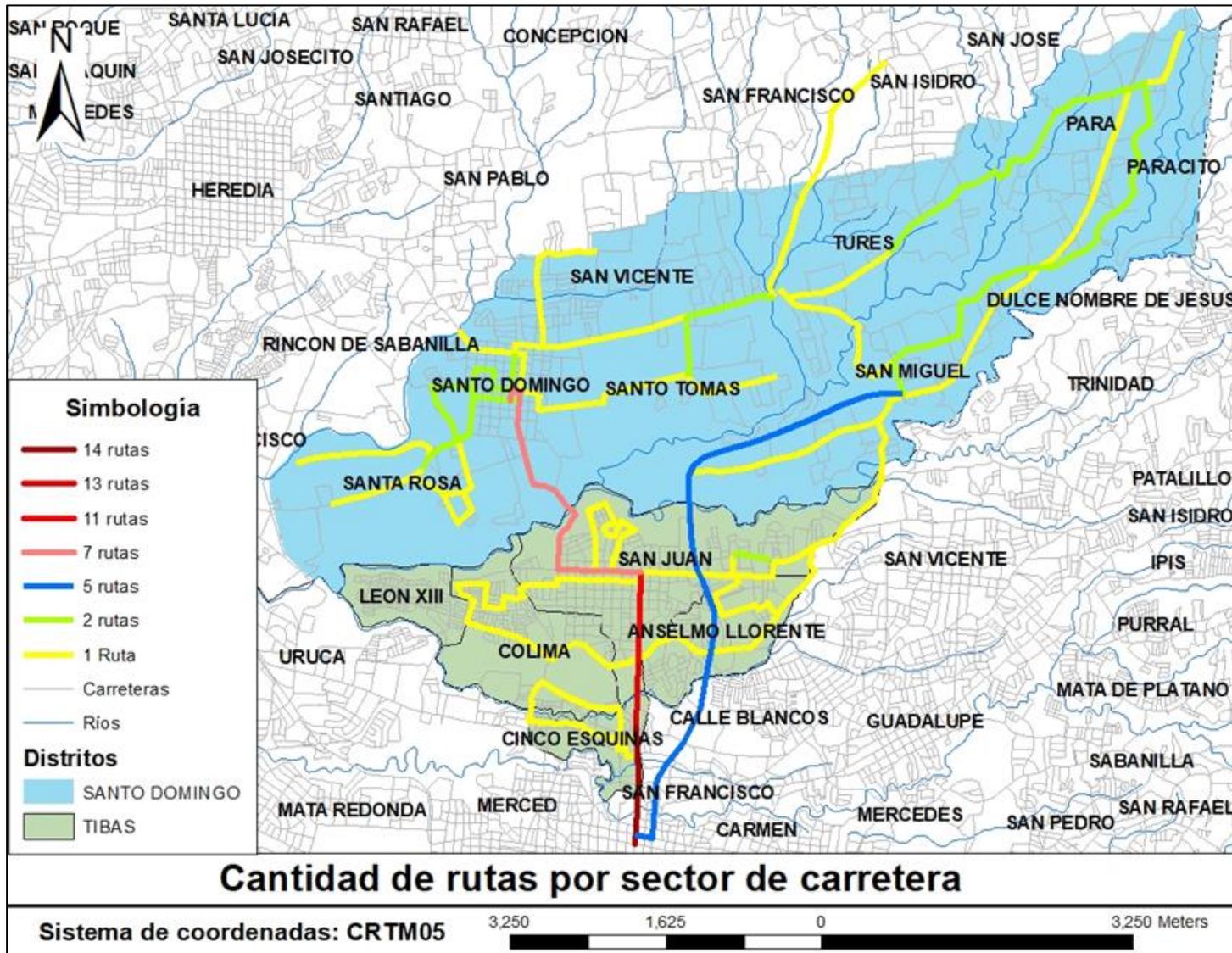


Figura 54. Cantidad de rutas por sector de carretera

En la Figura 54 se muestra la cantidad de rutas que transitan por las carreteras del sector de estudio, esto es importante para determinar aquellas carreteras que tienen un mayor volumen, que como se observa, la ruta 5 en el tramo del centro de San José al centro de Tibás posee la mayor cantidad de rutas, con un total de 11 a la altura del centro de este cantón. Este es un factor importante ya que si se logra disminuir la cantidad de autobuses que transiten por cierto tramo de carretera ayudará a mejorar la vialidad del lugar. En el Cuadro 12 se presenta la frecuencia reportada por el operador en los ramales de la ruta.

Cuadro 12. Frecuencias reportadas por el operador en ramales de ruta 20

Descripción del ramal	Frecuencia en hora pico (min)
Barrio Lourdes-Quebradas-Santo Domingo-Tibás-San José	12
Barrio Virginia-Florida-Tibás-San José	60
Calle Higinia-Santo Tomás-Santo Domingo-San José	60
Florida-Llorente-San José	10
Florida-Tibás-San José	10
La Vigui-Santo Domingo-Tibás-San José	20
Las Juntas-San Luis-San José X Pista	30
Los Ángeles-San Luis-San Miguel-San José X Pista	10
Mega Súper-La Victoria-Santa Rosa-Santo Domingo-San José	10
San José-Almendros-Cuatro Reinas Por El Cruce	12
San José-Bajo Piuses	15
San José-Barrio Virginia-Barrio Socorro-Pista Urbano	60
San José-Cuatro Esquinas De San Miguel-Los Ángeles-Proyecto De Vivienda La Zamora	30
San José-Cuatro Reinas Por Tibás	10
San José-El Invu-Linda Vista	30
San José-Jardines-Santa Mónica	60
San José-Tibás-Las Reinas-Cuatro Reinas	30
San Martín-Santa Rosa-Santo Domingo-San José	30
Santo Domingo-Santo Tomás-Los Ángeles-San Miguel-San Luis	30

Fuente: Aresep,2020

### 3.4. Características poblacionales del sector Tibás – Santo Domingo.

Es importante analizar ciertas características de la población en el sector de estudio, ya que estas pueden influir de manera directa en la escogencia del modo de transporte. Un factor que puede influir en la elección del modo de transporte es la cercanía que se encuentra la

parada más cercana del lugar de destino, por lo que para poder analizar la red de transporte público adecuadamente es importante identificar esos lugares que se encuentren densamente poblados y asegurarse que tengan un acceso adecuado al sistema de transporte.

Así mismo, la escogencia del modo de transporte es algo que se ve muy influenciado por las condiciones económicas que posea el núcleo familiar, ya que generalmente los habitantes con más riqueza utilizan menos el transporte público, en gran parte por la tenencia de vehículo privado.

La población del sector se divide según lo especificado en el cuadro 9, donde se observa que el cantón de Tibás posee el 63 % de la población de la zona de estudio, siendo el distrito de San Juan el más poblado. Como se observa en la Figura 55 en ambos cantones poseen sectores altamente poblados mientras que otros tienen una población menor, en el centro de las ciudades se observa una baja cantidad de habitantes, ya que el uso de suelo de estos sectores es mas que todo comercial, lo que provoca que tengan una baja densidad de habitantes. En la periferia de los cantones y a los márgenes de los ríos es donde se concentra cantidad importante de población, algunos de ellos siendo asentamientos informales, como lo son los ubicados en León XIII

Cuadro 13. Proyección de población total del área de estudio

Cantón	Población total	Distrito	Población por distrito
<b>Tibás</b>	84 873	San Juan	25 953
		Cinco Esquinas	8 411
		Anselmo Llorente	12 779
		León XIII	19 909
		Colima	17 821
<b>Santo Domingo</b>	49 461	Santo Domingo	5 070
		San Vicente	8 004
		San Miguel	7 919
		Paracito	2 808
		Santo Tomás	7 889
		Santa Rosa	9 173
		Tures	4 432
		Pará	4 166

Fuente: INEC, 2020

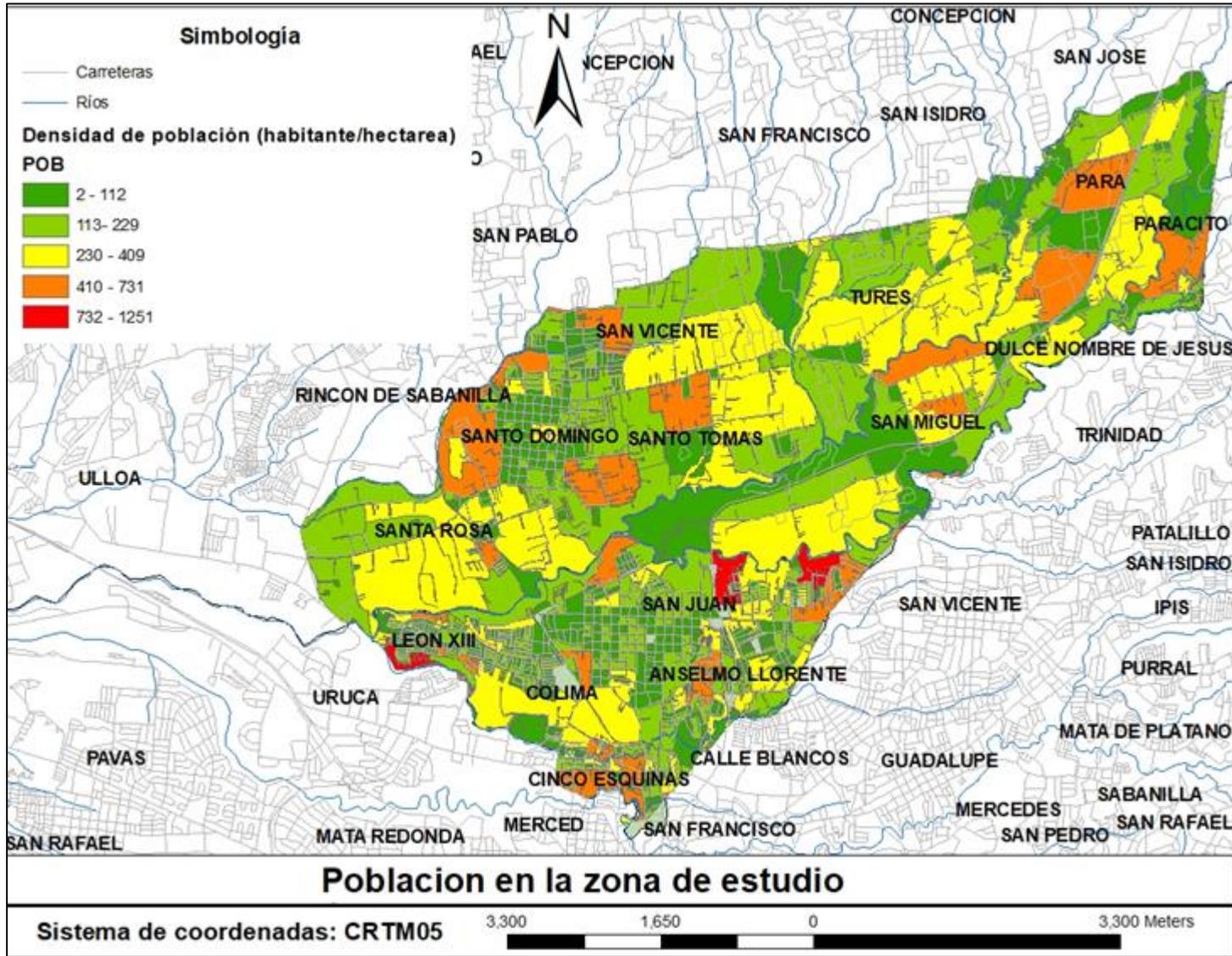


Figura 55. Población en la zona de estudio

Si se compara la población por sus características, se puede observar, según el censo realizado por el INEC en el año 2011, que para el cantón de Tibás los adultos mayores corresponden al 10.8 % de la población, mientras que un 11.5 % de la población total del cantón posee algún tipo de discapacidad; para el cantón de Santo Domingo, se tiene un 9.3 % de población mayor a 65 años y un 9.8 % de población con discapacidad. En la Figura 56 se muestra en la cantidad de población de estos grupos graficada por distrito.

Cuadro 14. Porcentaje de adulto mayor y personas con discapacidad

Canton	Distrito	Población Total	% Adulto mayor	% Personas discapacitadas
<b>Santo Domingo</b>	Santo Domingo	5 070	17.6	13.3
	San Vicente	8 004	8.7	9.7
	San Miguel	7 919	7.8	11.6
	Paracito	2 808	5.9	6.1
	Santo Tomás	7 889	10.1	8.8
	Santa Rosa	9 173	7.4	7.6
	Tures	4 432	8.1	10.8
	Pará	4 166	8.1	9.8
<b>Tibás</b>	San Juan	25 953	14.3	11.2
	Cinco Esquinas	8 411	8.9	11.5
	Anselmo Llorente	12 779	13.1	11.3
	León XIII	19 909	6.7	13.1
	Colima	17 821	8.3	10.5

Fuente: INEC, 2011

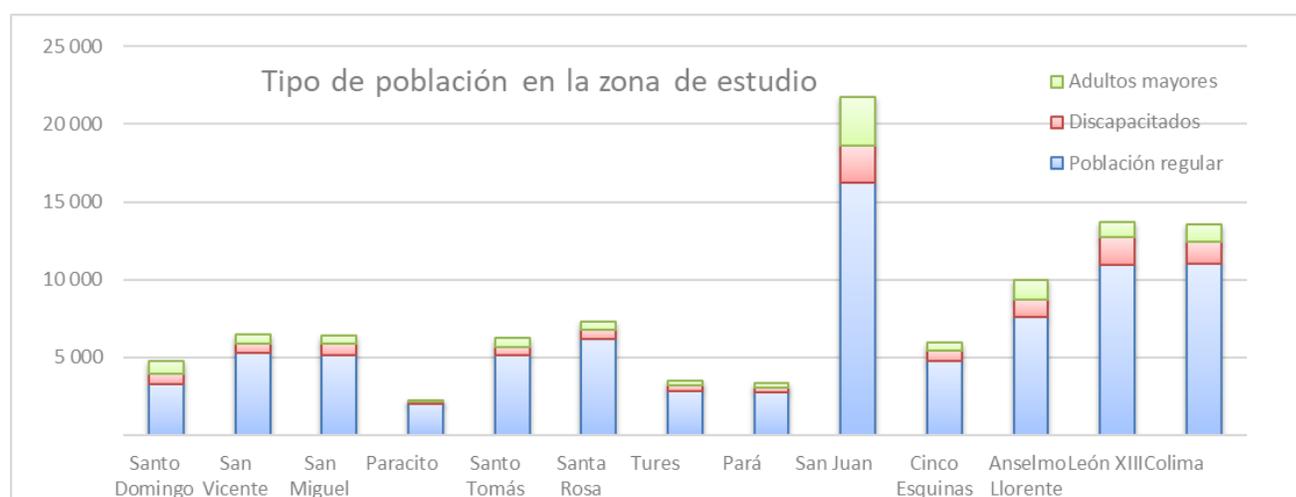


Figura 56. Población especial dividida por distritos

Como se mencionó anteriormente, la tenencia de vehículo es un factor que influye mucho en la utilización del transporte público, según datos de INEC, en el cantón de Santo Domingo el 57,3 % de las viviendas tiene al menos un vehículo privado y el 10,2 % poseen una motocicleta; para el sector de Tibás estos porcentajes equivalen 45.1 % y un 8.8 % respectivamente. En el siguiente gráfico se muestran los porcentajes separados por distrito de viviendas que poseen estas características.

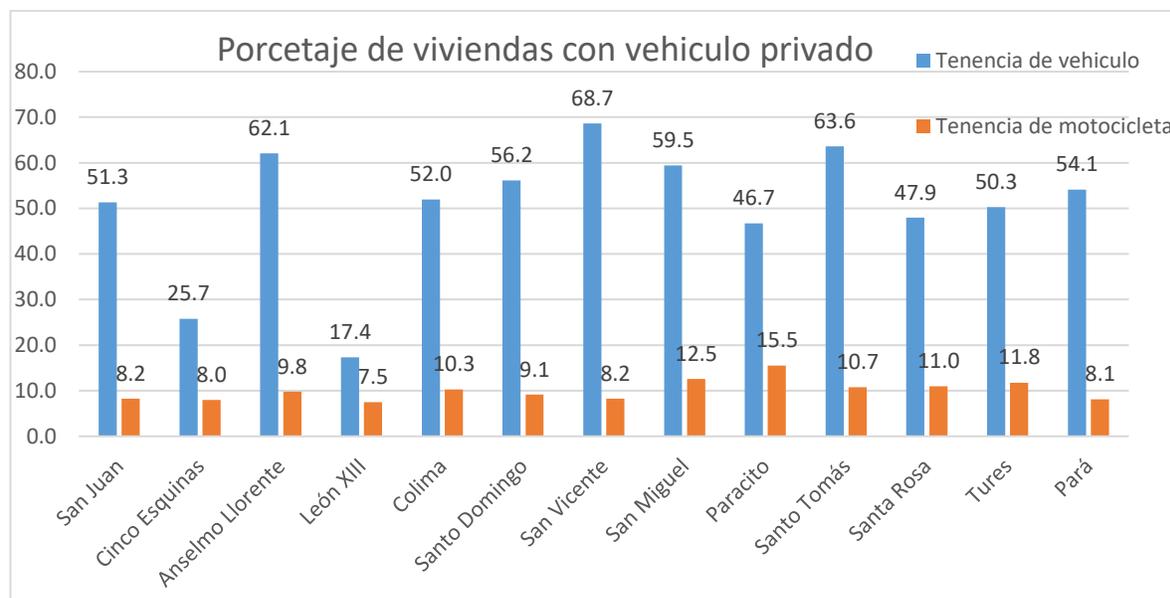


Figura 57. Porcentaje de viviendas que poseen vehículo y motocicleta en el sector de estudio

Es importante analizar cuáles son las áreas más pobladas de la zona de estudio para así poder comparar con la zona de influencia del transporte público y poder observar cuáles de estas poseen una densidad poblacional importante no están abastecidas por el servicio de autobús. Una vez identificado estos sectores, se debe de analizar la razón por las cuáles no tienen un servicio adecuado de transporte público y así pensar en las soluciones para este problema.

La solución más sencilla es la colocación de una parada de autobús cerca de estas zonas urbanas, sin embargo, en muchos casos la topografía del lugar y la infraestructura requerida hace imposible la implementación de nuevas rutas para poder acceder a dichas zonas. En Figura 58 se muestra la densidad poblacional con la cobertura del transporte público.

Como se observa en la figura 59, el sector de León XII es el distrito con mayor densidad de población, esto provocado por la gran cantidad de asentamientos informales en la zona, por lo que es importante tener bien cubierta esta zona con el transporte público. Cabe destacar que este sector es abastecido por ramales del sector Uruca, lo que provoca que en la figura 60 se observa esta zona sin cobertura a los 525 metros. Se puede observar la gran diferencia que existe entre los distritos de ambos cantones, Tibás posee una densidad de población de 7 956 hab/km<sup>2</sup> mientras que Santo Domingo posee solamente 1 613 hab/km<sup>2</sup>.

Cuadro 15. Área y densidad de población por distrito

Distrito	Area (km <sup>2</sup> )	Area (Ha)	Poblacion	Densidad (hab/ha)
San Juan	3.5	352.9	21 745	6 162
Anselmo Llorente	1.3	131.5	9 986	7 592
Cinco Esquinas	0.7	70.8	5 925	8 375
Leon XIII	0.8	77.7	13 661	17 583
Colima	2.0	200.8	13 525	6 735
Para	2.8	280.7	3 333	1 187
Paracito	1.2	115.3	2 231	1 934
Tures	3.9	386.3	3 452	894
San Miguel	5.9	588.8	6 363	1 081
San Vicente	3.0	295.0	6 427	2 179
Santo Tomas	3.5	351.6	6 267	1 782
Santa Rosa	4.3	425.9	7 269	1 707
Santo Domingo	0.8	79.0	4 730	5 990

Fuente: INEC, 2020

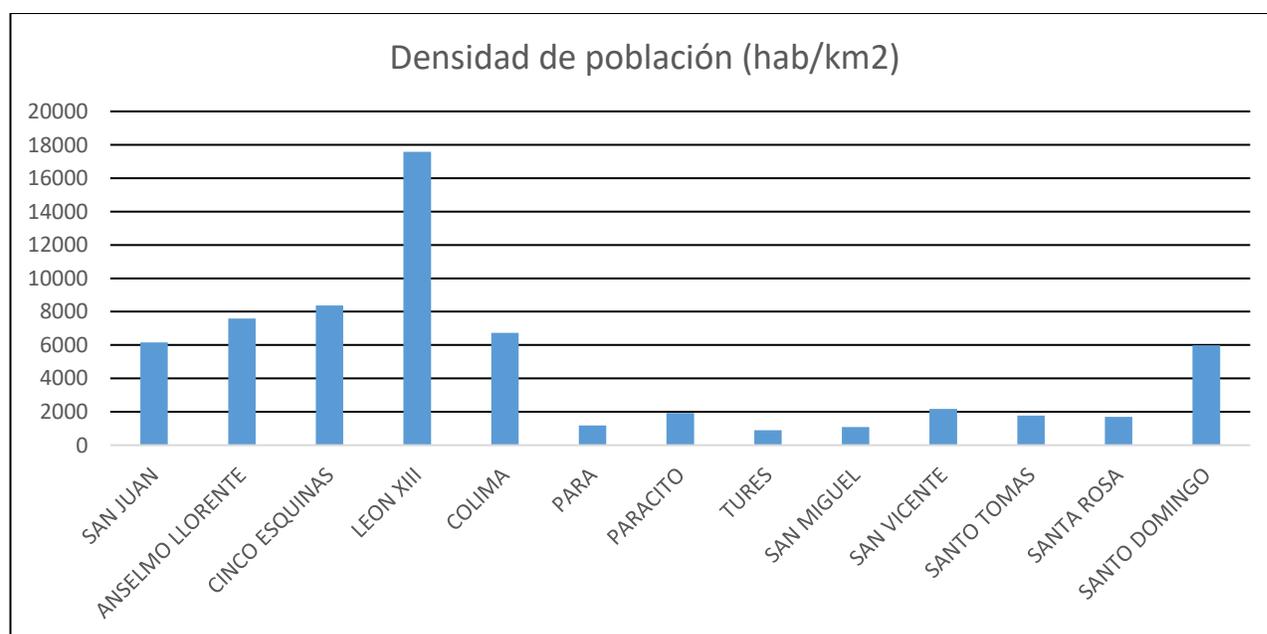


Figura 58. Gráfico de densidad poblacional



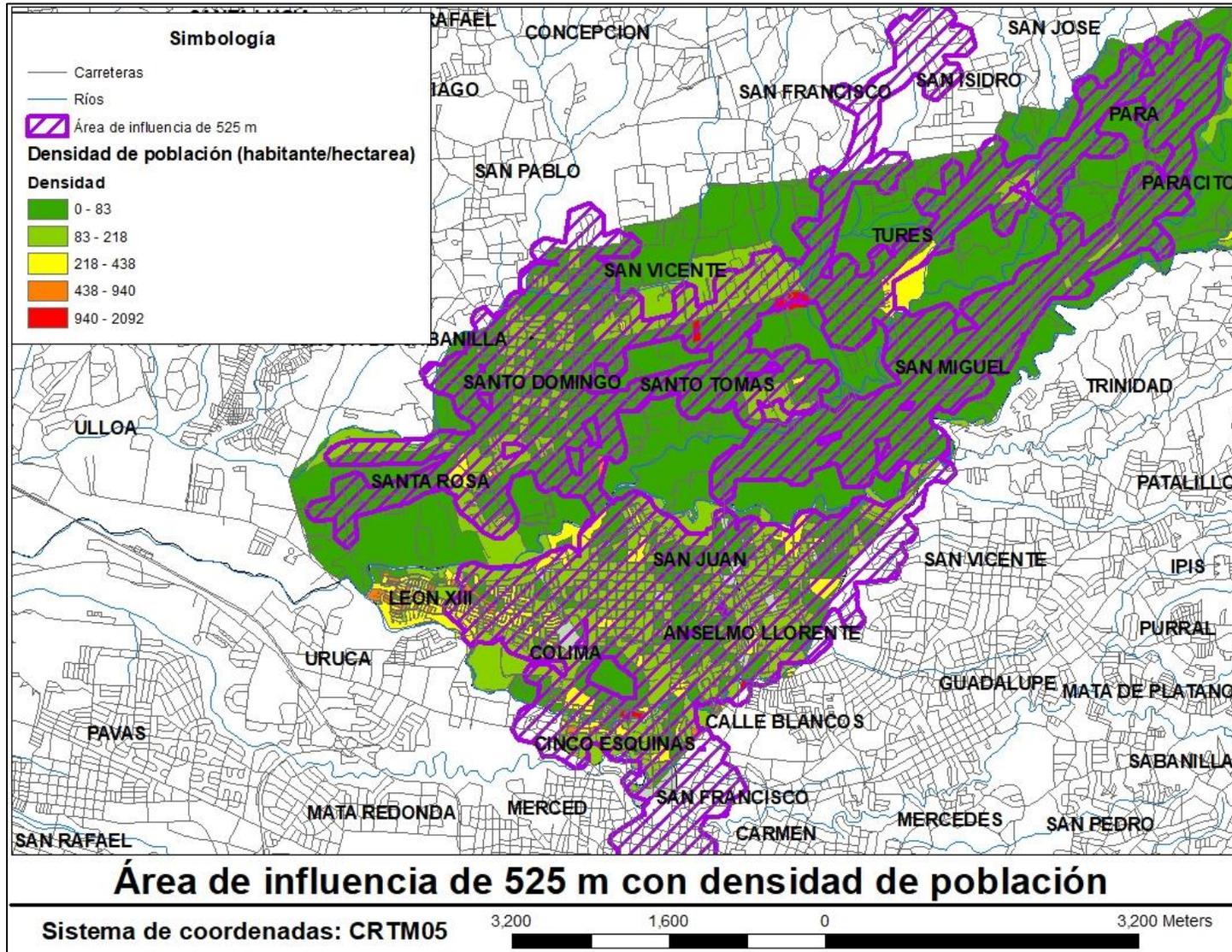


Figura 60. Densidad de población en la zona de estudio

Es importante analizar la matriz de atracción y generación de viajes del sector de estudio, esto debido a que se modela el comportamiento de la población en términos de movilidad. Con esto, se podría optimizar el servicio en aquellos puntos donde la generación de viajes sea mayor.

En la siguiente figura se presenta la matriz origen destino de un día hábil resultante de trabajo de campo en autobús regular para los diferentes sectores de transporte público, mientras que en la figura 62s e muestra por cantones. Se puede observar como la mayoría de viajes que se presentan entre el sector Tibás – Santo Domingo son hacia el centro de la capital, con un total de 12 653 viajes, seguido con un total de 10 660 viajes entre el mismo sector. Es importante analizar los viajes intersectoriales, ya que juntos representan un total de 57 % de los viajes del sector, por lo que se debe tomar en cuenta estos servicios a la hora del diseño del sistema BRT.

	Central	Escazu- Santa Ana	exterior	Guadalupe- Moravia	Hatillo- Alajuelita	Pavas	San Francisco- Desamparados	San Pedro- Curridabat	Tibas-Santo Domingo	Uruca-Heredia	Total general
Central	12.737	14.369	12.680	24.987	24.309	11.965	22.785	24.733	12.653	17.229	178.447
Escazu-Santa Ana	14.369	13.830	3.754	5.107	2.762	2.679	3.264	3.412	1.422	2.435	53.034
exterior	12.680	3.754	20.111	9.205	5.539	2.206	10.304	10.688	3.729	9.223	87.439
Guadalupe-Moravia	24.987	5.107	9.205	26.665	5.996	2.675	6.325	7.662	4.303	7.141	100.067
Hatillo-Alajuelita	24.309	2.762	5.539	5.996	15.455	2.718	7.506	4.333	2.224	4.051	74.893
Pavas	11.965	2.679	2.206	2.675	2.718	3.536	2.839	2.288	1.137	1.471	33.513
San Francisco-Desamparados	22.785	3.264	10.304	6.325	7.506	2.839	36.096	11.864	3.645	7.207	111.835
San Pedro-Curridabat	24.733	3.412	10.688	7.662	4.333	2.288	11.864	31.828	3.642	7.978	108.428
Tibas-Santo Domingo	12.653	1.422	3.729	4.303	2.224	1.137	3.645	3.642	10.660	6.721	50.137
Uruca-Heredia	17.229	2.435	9.223	7.141	4.051	1.471	7.207	7.978	6.721	8.175	71.633
<b>TOTAL</b>	<b>178.447</b>	<b>53.034</b>	<b>87.439</b>	<b>100.067</b>	<b>74.893</b>	<b>33.513</b>	<b>111.835</b>	<b>108.428</b>	<b>50.137</b>	<b>71.633</b>	<b>869.426</b>

Figura 61. Matriz OD resultante de trabajo de campo día hábil en bus regular según sector  
Fuente: EPYPSA, 2015

En la figura 63 se puede observar más específicamente la interacción entre cantones, por ejemplo, se ve que el cantón de Tibás tiene una generación de viajes importante con el cantón de Desamparados, con un total de 1732 viajes. Estas interacciones permiten identificar posibles mejoras que se le pueden realizar a las redes intersectoriales para así brindar un servicio más eficiente al usuario y disminuir la congestión en el centro de la ciudad. Con estos datos se puede justificar la necesidad de implementar un sistema troncalizado en el sector de estudio, ya que una demanda de 50 137 viajes en un día hábil es una cantidad importante de usuarios, además en la figura 63 se muestra los IPK promedio de los diferentes corredores mas importantes del país, donde el de Tibas – Santo Domingo se encuentra en de número 4 con un 2,62.

SECTOR	No. DE RUTAS	ASCENSOS (pasajero/día)	PARTICIPACIÓN	IPK PROMEDIO	VELOCIDAD PROMEIDO (Km/hr)
Central	11	82.837	7%	7,33	10
Escazú - Santa Ana	35	90.524	8%	1,32	23
Guadalupe - Moravia	47	208.779	18%	2,74	16
Hatillo - Alajuelita	38	156.480	13%	3,96	17
Intersectorial	3	14.392	1%	2,22	17
Otros	4	21.045	2%	2,25	17
Pavas	5	68.327	6%	4,78	16
San Francisco - Desamparados	34	163.454	14%	2,51	17
San Pedro - Curridabat	38	165.397	14%	2,57	16
Tibás - Santo Domingo	21	82.570	7%	2,62	21
Uruca - Heredia	19	108.189	9%	3,17	18
<b>TOTAL</b>	<b>255</b>	<b>1.161.994</b>	<b>100%</b>	<b>2,76</b>	<b>17</b>

Figura 62. IPK promedio en los diferentes sectores  
Fuente: EPYPSA, 2015

	ALAJUELITA	ASERRI	CURRIDABAT	DESAMPARADOS	ESCAZU	exterior	FLORES	GOICOECHEA	HEREDIA	LA UNION	MONTES DE OCA	MORA	MORAVIA	SAN ISIDRO	SAN JOSE	SAN PABLO	SAN RAFAEL	SANTA ANA	SANTO DOMINGO	TIBAS	VAZQUEZ DE CORONADO	TOTAL
ALAJUELITA	4.061	443	382	1.090	943	1.396	0	1.225	329	1.049	389	0	546	0	11.102	0	0	218	0	452	199	23.826
ASERRI	443	1.361	532	4.085	512	1.134	0	194	486	540	815	0	194	0	5.195	0	0	0	143	350	0	15.985
CURRIDABAT	382	532	10.097	1.996	1.632	3.589	235	2.067	2.137	1.121	4.159	143	1.071	0	17.093	325	0	309	0	1.208	1.022	49.117
DESAMPARADOS	1.090	4.085	1.996	20.091	1.748	8.376	0	2.718	3.174	4.579	1.544	0	1.804	143	30.221	155	0	233	661	1.732	992	85.343
ESCAZU	943	512	1.632	1.748	2.960	1.904	0	1.669	245	929	1.277	0	765	0	10.894	0	0	1.426	0	351	433	27.689
exterior	1.396	1.134	3.589	8.376	1.904	20.111	282	5.162	5.420	7.439	3.028	121	2.529	0	20.118	0	0	1.729	1.056	2.170	1.875	87.439
FLORES	0	0	235	0	0	282	0	0	180	0	0	0	0	0	823	0	0	0	0	0	0	1.520
GOICOECHEA	1.225	194	2.067	2.718	1.669	5.162	0	8.758	2.181	2.115	1.709	388	2.378	0	15.796	0	0	616	347	1.537	2.996	51.858
HEREDIA	329	486	2.137	3.174	245	5.420	180	2.181	1.445	2.851	1.066	221	1.002	520	13.386	147	260	0	1.435	721	508	37.715
LA UNION	1.049	540	1.121	4.579	929	7.439	0	2.115	2.851	18.248	774	221	885	0	14.594	0	0	443	570	1.398	443	58.198
MONTES DE OCA	389	815	4.159	1.544	1.277	3.028	0	1.709	1.066	774	5.124	441	1.393	0	5.829	260	130	647	214	886	1.096	30.780
MORA	0	0	143	0	0	121	0	388	221	221	441	883	0	0	1.905	0	0	0	0	291	90	4.705
MORAVIA	546	194	1.071	1.804	765	2.529	0	2.378	1.002	885	1.393	0	1.821	0	9.056	78	0	423	345	302	645	25.239
SAN ISIDRO	0	0	0	143	0	0	0	0	520	0	0	0	0	660	1.275	260	0	0	520	0	0	3.378
SAN JOSE	11.102	5.195	17.093	30.221	10.894	20.118	823	15.796	13.386	14.594	5.829	1.905	9.056	1.275	92.849	1.323	0	6.412	3.534	10.838	6.129	278.374
SAN PABLO	0	0	325	155	0	0	0	0	147	0	260	0	78	260	1.323	0	0	0	0	520	260	3.328
SAN RAFAEL	0	0	0	0	0	0	0	0	260	0	130	0	0	0	0	0	520	0	0	0	0	910
SANTA ANA	218	0	309	233	1.426	1.729	0	616	0	443	647	0	423	0	6.412	0	0	7.136	0	535	515	20.640
SANTO DOMINGO	0	143	0	661	0	1.056	0	347	1.435	570	214	0	345	520	3.534	0	0	0	3.423	353	323	12.924
TIBAS	452	350	1.208	1.732	351	2.170	0	1.537	721	1.398	886	291	302	0	10.838	520	0	535	353	2.324	682	26.650
VAZQUEZ DE CORONADO	199	0	1.022	992	433	1.875	0	2.996	508	443	1.096	90	645	0	6.129	260	0	515	323	682	5.597	23.806
<b>TOTAL</b>	<b>23.826</b>	<b>15.985</b>	<b>49.117</b>	<b>85.343</b>	<b>27.689</b>	<b>87.439</b>	<b>1.520</b>	<b>51.858</b>	<b>37.715</b>	<b>58.198</b>	<b>30.780</b>	<b>4.705</b>	<b>25.239</b>	<b>3.378</b>	<b>278.374</b>	<b>3.328</b>	<b>910</b>	<b>20.640</b>	<b>12.924</b>	<b>26.650</b>	<b>23.806</b>	<b>869.426</b>

Figura 63. Matriz OD resultante de trabajo de campo día hábil en bus regular según cantón

Fuente: EPYPSA, 2015

## 4. Propuesta del sistema BRT

Para el diseño de las rutas troncales y secundarias del sector de estudio se tomará como antecedentes la sectorización propuesta por el consorcio EPYPSA – SIGMA GP en el año 2015 y la propuesta realizada por la compañía LCR Logística S.A en el año 1999. Para que un sistema de rutas del transporte público pueda comportarse como un sistema jerarquizado de rutas primarias y secundarias, se deben de tomar en cuenta varias características esenciales:

- Las rutas de cada sector deben de complementarse entre sí y no competir entre ellas.
- Las rutas primarias deben de tener una frecuencia alta, siendo el sistema circulatorio central a nivel metropolitano.
- Las rutas secundarias deben de complementarse con las rutas primarias, esto para servir de alimentadoras al sistema central y dando a su vez cobertura a los lugares más alejados de los cantones.
- Se debe de considerar la implementación de un cobro electrónico, esto para dar fluidez y reducir el tiempo de abordaje (cantidad de tiempo que el autobús se mantiene detenido en las diferentes paradas a lo largo del recorrido).
- El operador encargado de proveer el servicio de transporte público en el sector debe de estar en condiciones de ofrecer viajes bajo diferentes esquemas de paradas, como lo son servicios regulares y servicios directos. Esto para poder optimizar el sistema y reducir el tiempo de viaje de los usuarios.

Una de las consideraciones a la hora de elegir las rutas troncales es el recorrido que tenga la ruta, ya que este debe de ser el más corto posible, esto para que se disminuya el tiempo de viaje. Debido a las bajas velocidades de operación que se presentan en los sistemas que no poseen un carril diferenciado se recomienda que se establezca este en el mayor porcentaje posible de la ruta.

Por otro lado, se debe de dar prioridad de paso a los autobuses de la ruta troncal en las intersecciones con los vehículos particulares, si se tiene una intersección semaforizada se

debe siempre de dar el menor tiempo de rojo posible en el sentido de circulación de la ruta troncal, mientras que si se una intersección de alto y ceda siempre se debe de dar la prioridad al autobús. Cabe destacar que en el trazado y la posible implementación de las rutas troncales se hará intentando tener el menor impacto en vial en el corredor de estudio.

Los aspectos que generalmente son considerados por los usuarios como factores relevantes a la hora de elegir el transporte público como forma de movilización son: disponibilidad, tarifa, frecuencia, tiempo de viaje, accesibilidad, comodidad, etc. Con la implantación de un sistema troncalizado muchos de estos factores se ven afectados de forma positiva, ya que se aumenta la frecuencia de los viajes, se reducen los tiempos de viajes, y se aumenta la cobertura del sistema para así poder dar una mejor accesibilidad a la población, mejorando así las condiciones de movilidad del sector y haciéndolo más atractivo para el usuario.

Al proponer la infraestructura necesaria para la buena operación del sistema BRT, como lo son las paradas, bahías, intercambios; se tuvo en mente provocar la menor afectación al entorno actual, esto para minimizar costos de implementación del sistema y para evitar interferir con la vialidad de las ciudades. En la Figura 63 se presenta la sectorización propuesta por EPYPSA – SIGMA GP.

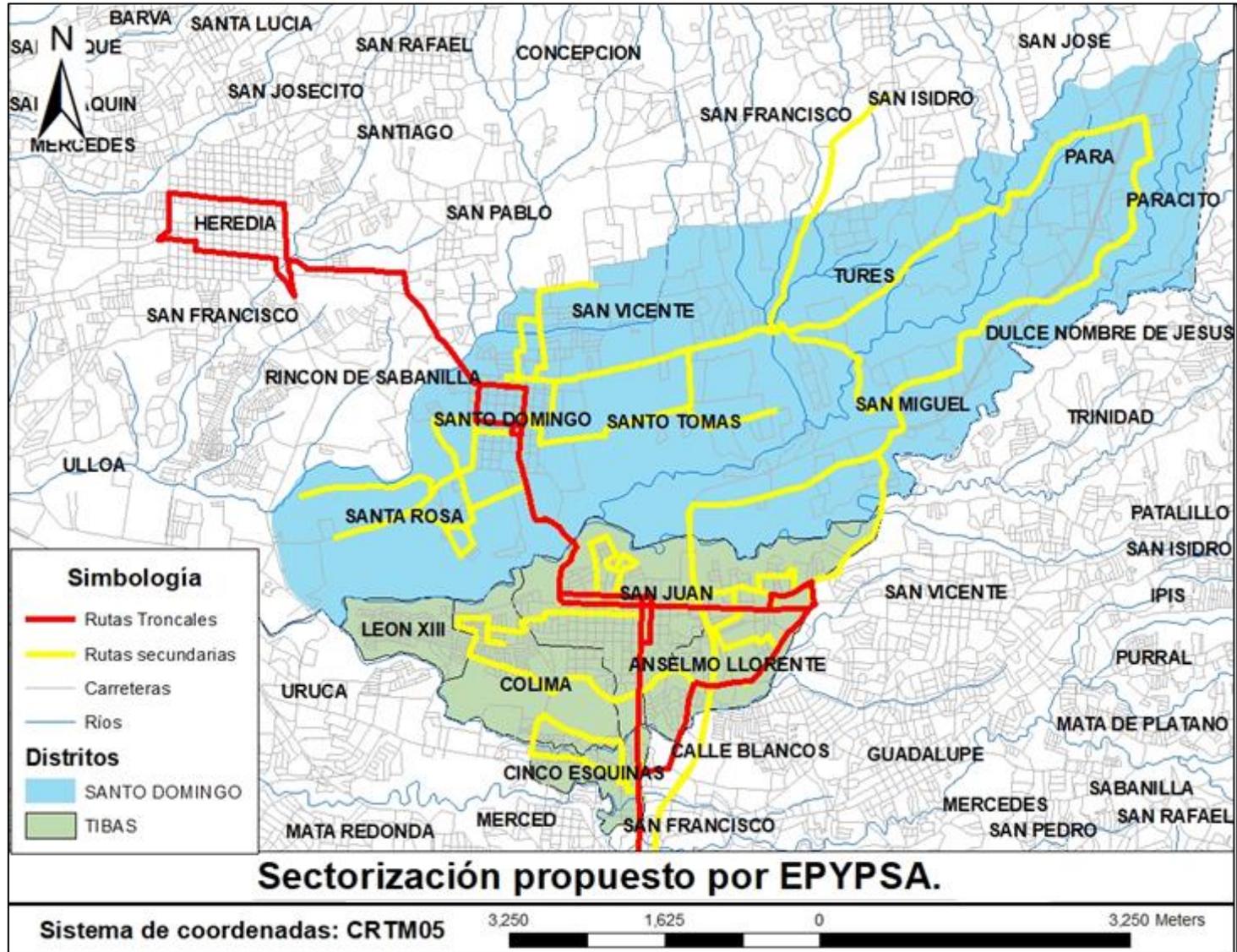


Figura 64. Sectorización propuesta por EPYPSA

## 4.1. Diseño de rutas troncales

### 4.1.1 Troncal 1: Santo Domingo – Tibás – San José

Como se observa en la figura 53, la ruta 5 es la que posee una mayor frecuencia, alcanzado un máximo en hora pico de 71 buses por hora, esto en el tramo que abarca del parque de Tibás al centro de San José. Una de las causas de este problema es que esta es la carretera principal del sector de estudio, lo que provoca que 13 de las 19 rutas del sector transiten por dicha ruta, lo que provoca duplicidad de servicios en esta carretera. Cabe destacar que este es uno de los principales criterios tomados para la elección del recorrido de la ruta.

Como se ha mencionado en los capítulos anteriores, el recorrido que posee actualmente la ruta 400-A posee la característica que transita por la principal carretera del sector de estudio (ruta 5) y posee la frecuencia más alta de todo el sector, siendo también la que más pasajeros transporta. Debido a estas características se decide utilizar esta ruta como la principal ruta troncal del sector, en el siguiente cuadro se muestra la frecuencia de cada ruta que parte de su recorrido es absorbido por esta ruta troncal, así como la cantidad de buses que aportan a la frecuencia conjunta de la ruta. Se modificará un poco el recorrido en el centro del cantón de Santo Domingo, esto con el fin de simplificar el recorrido y el intercambio de pasajeros, dichos cambios se pueden apreciar en la Figura 69, mientras que en la Figura 64 se muestra el recorrido total de la ruta.

Cuadro 16. Frecuencias y cantidad de buses por ramal

Descripción del ramal	Frecuencia en hora pico (min)	Cantidad de buses
Barrio Lourdes-Quebradas-Santo Domingo-Tibás-San José	12	5
Barrio Virginia-Florida-Tibás-San José	60	1
Florida-Llorente-San José	10	7
Florida-Tibás-San José	10	7
La Vigui-Santo Domingo-Tibás-San José	20	3
Mega Súper-La Victoria-Santa Rosa-Santo Domingo-San José	10	6
San José-Almendros-Cuatro Reinas Por El Cruce	12	5
San José-Bajo Piuses	15	4
San José-Cuatro Reinas Por Tibás	10	6
San José-El Invu-Linda Vista	30	2
San José-Jardines-Santa Mónica	60	1
San José-Tibás-Las Reinas-Cuatro Reinas	30	2
San Martín-Santa Rosa-Santo Domingo-San José	30	2
Ruta 400 -A	3	20

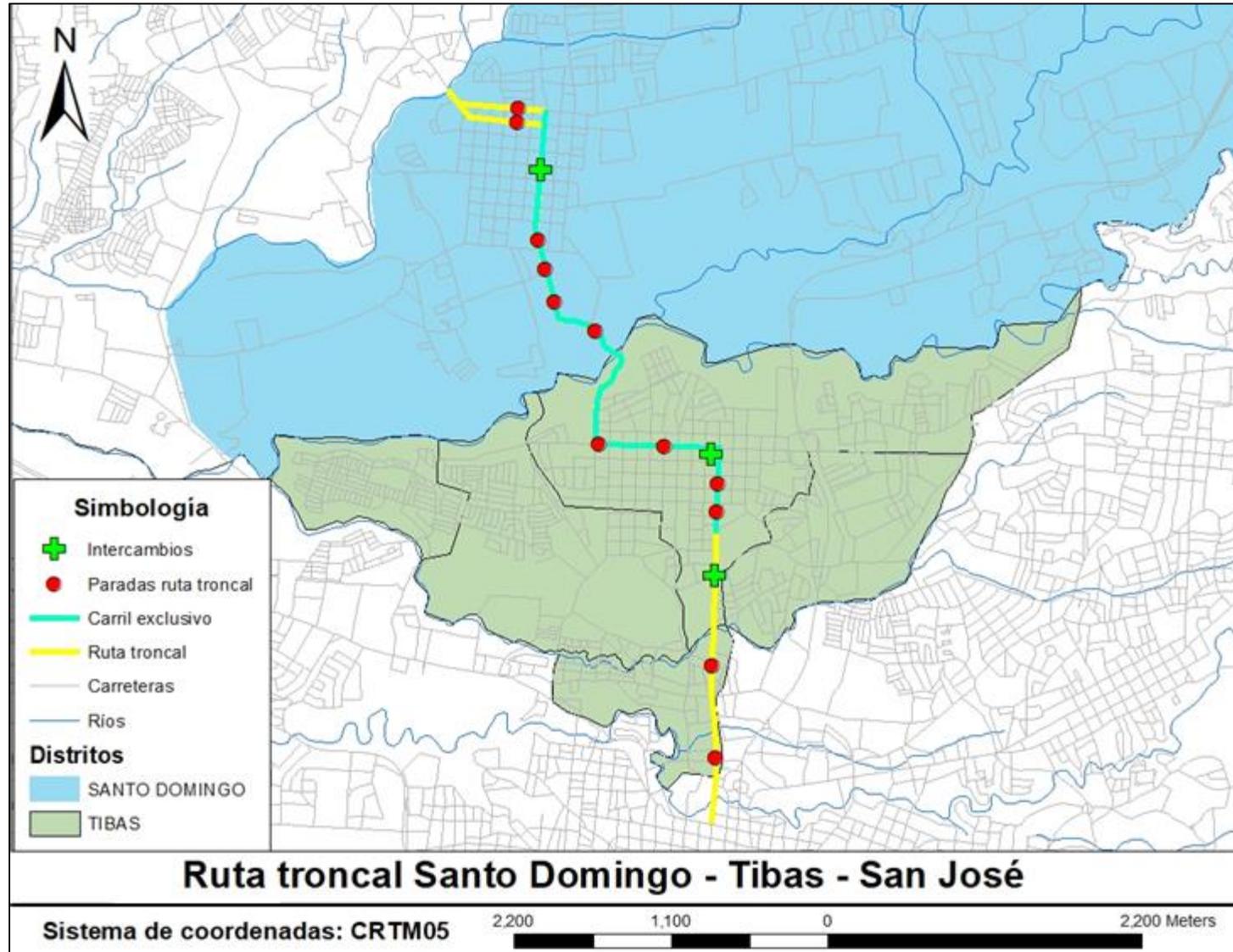


Figura 65. Propuesta de ruta troncal Santo Domingo-Tibás-San José

Con el fin de mejorar la vialidad de la zona del centro de Santo Domingo, se propone realizar cambios en el sentido de las vías de la ciudad, esto con el fin de separar el tráfico regular de los vehículos de transporte público. El ingeniero Jorge Díaz en su trabajo final de graduación "Análisis de implementación de un sistema de Buses de Tránsito Rápido para el corredor Uruca – Heredia" (Díaz, 2019) realizó el diseño vial para el centro del cantón de Santo Domingo, por lo que se usara este diseño para este análisis, ya que se considera el más apto para el sistema de transporte público.

Primeramente, se realizaría el cambio en el par vial que se encuentra actualmente para la entrada y salida del cantón en dirección hacia la ciudad de Heredia, el cual está conformado por la avenida 5 y avenida 3, esto para eliminar un giro conflictivo que se produce actualmente en la intersección de ruta 5 y calle 6. Para esto se propone realizar el par vial con la avenida 5 y avenida 7 para así dar mayor fluidez a los autobuses que vienen en sentido Heredia – Santo Domingo, los cuales transitarían por la avenida 5, mientras que la avenida 7 sería la carretera principal para salir del cantón en sentido Santo Domingo – Heredia. Cabe destacar que ambas carreteras tendrían 2 carriles en sus respectivos sentidos.

Con esta configuración vial se presentan 2 giros conflictivos para los autobuses, estos suceden en la intersección del carril exclusivo con el par vial, lo que es actualmente la intersección de la ruta 5 con la avenida 7 y avenida 5, lo que general los giros conflictivos 1 y 2 respectivamente, estos se muestran en las Figuras 65, 66 y 67. El ingeniero Jorge Díaz (Díaz, 2019) realizó el diseño de estos giros, los cuales se presentan en la Figura 68.

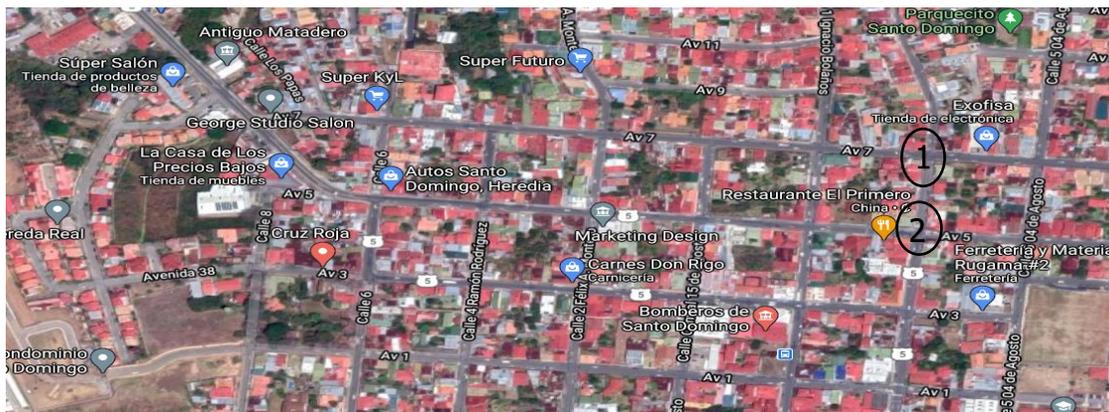


Figura 66. Giros conflictivos para la ruta troncal  
Fuente: Google Maps, 2020



Figura 67. Giro conflictivo 1



Figura 68. Giro conflictivo 2

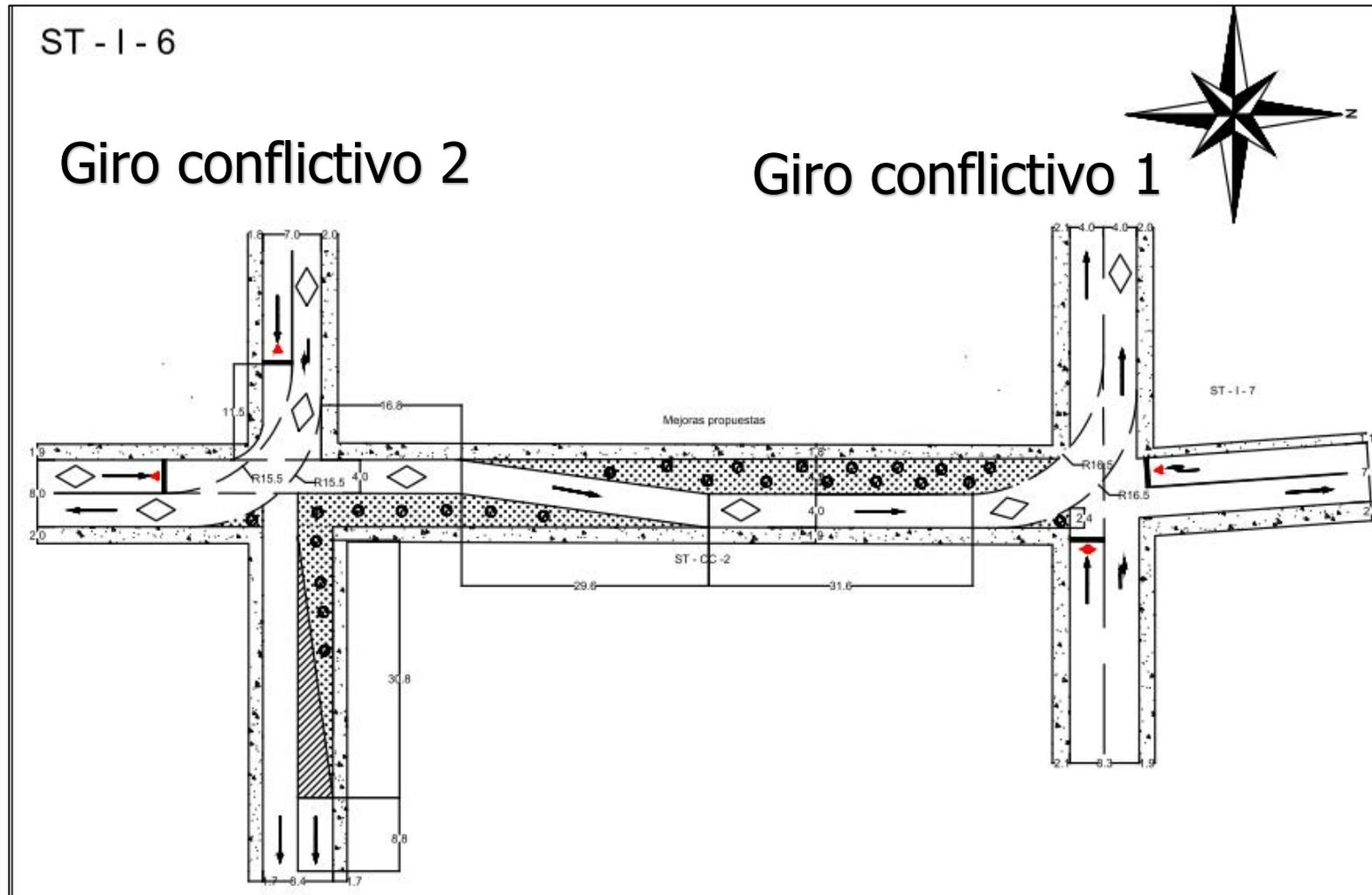


Figura 69. Diseño de los giros conflictivos para el sector de Santo Domingo  
Fuente: (Díaz, 2019)

En la Figura 69 se muestra la nueva configuración que se utilizará en esta zona, como se puede observar se tuvieron que realizar cambios en las vías del cantón, ya que se utilizará la ruta 5 únicamente para acceso de buses, mientras que los vehículos privados se deberán desviar por carreteras paralelas a estas. Esta distribución fue propuesta por el ingeniero Díaz (Díaz, 2019), la cual se muestra en la Figura 70; en el centro del cantón se utilizará la calle Central para el sentido San José – Santo Domingo y la Calle 2 para el sentido contrario.

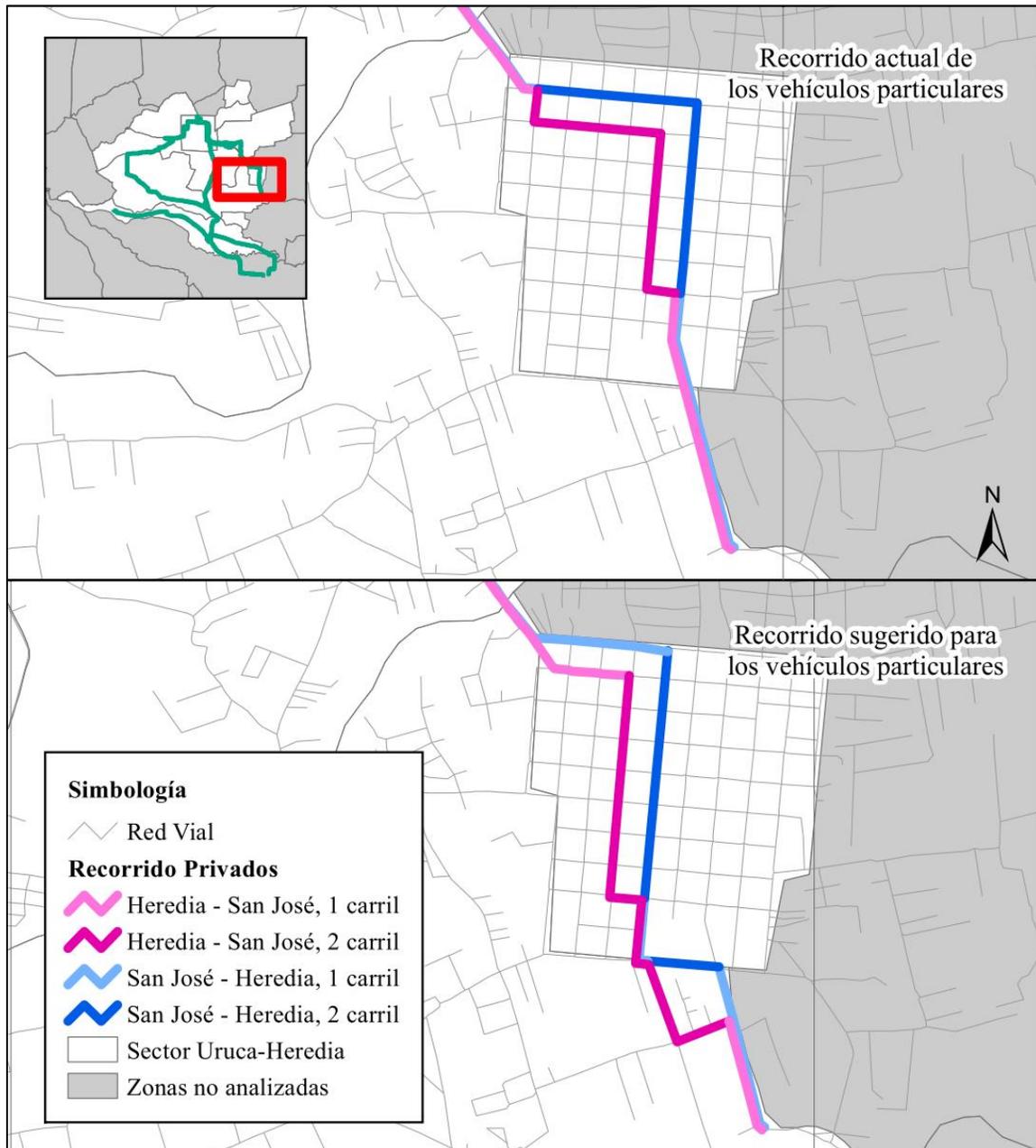


Figura 70. Recorrido de vehículos privados en el centro del cantón de Santo Domingo  
Fuente: (Díaz, 2019)

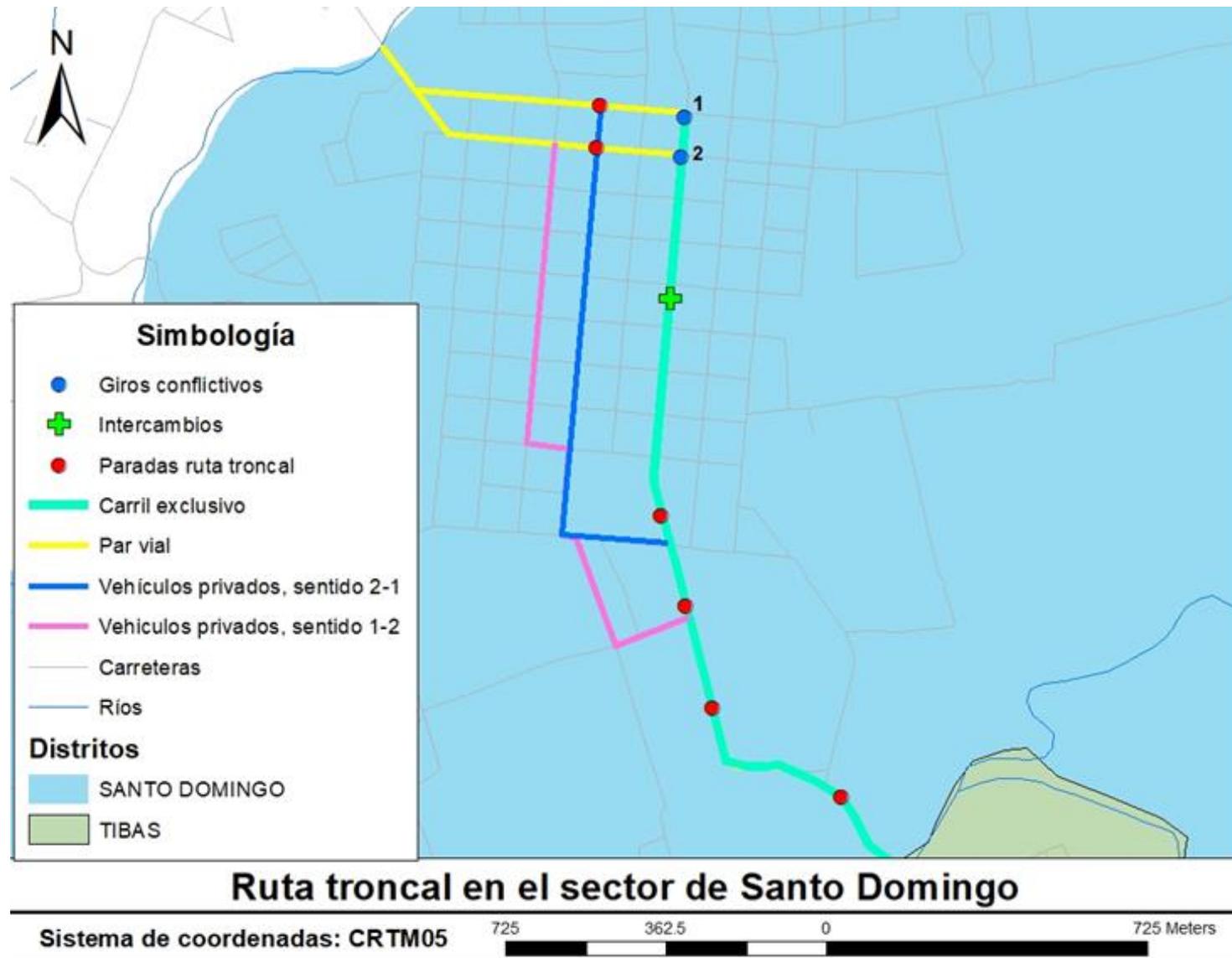


Figura 71. Detalle de red vial en el centro del cantón de Santo Domingo

Se espera que con las mejoras en el sistema se disminuya el tiempo de espera que actualmente posee la ruta 400-A en el tramo desde el centro de San José hasta el centro de Santo Domingo, así mismo se espera tener un total de 17 paradas a lo largo de su recorrido en el sector de estudio, el cual es de 8 km.

Los intercambios más importantes se establecerán en el parque central de Tibás y en el centro del cantón de Santo Domingo, sobre la ruta 5, entre avenida 3 y 5. Se decide utilizar estas ubicaciones debido a que se consideran las más aptas para realizar los intercambios entre las rutas troncales y las secundarias, esto debido a que estos son puntos de reunión y están ubicados en lugares de convergencia de las rutas, por lo que facilitaría el transbordo de los usuarios. Otro intercambio importante se da en el cruce de ruta 5 con la ruta 101, la cual es donde actualmente transita la ruta San José – Florida por el cruce y San José – Cuatro Reinas por el cruce, esto para facilitar la movilidad de los usuarios de esta zona. En la sección 4.4.1 se presentan más detalles de estos intercambios.

Una de las ventajas que posee esta propuesta es que en el sector de Tibás ya se encuentra en funcionamiento un carril exclusivo, abarcando un recorrido de 1.3 kilómetros, iniciando poco después del cruce del río Virilla (límite entre el cantón de Tibás y el cantón de Santo Domingo) y terminando a la altura del centro comercial Plaza del Valle. Además, se espera que en los próximos años se complete la totalidad del carril exclusivo a lo largo de toda la ruta, por lo que la propuesta de una ruta troncal ayudaría a agilizar este proceso sirviendo como medio de presión para las autoridades pertinentes, cabe destacar que ya se ha ido trabajando por parte del Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) un plan para completar el carril exclusivo entre Tibás y Santo Domingo.

Se recomienda dar continuidad al carril exclusivo que se encuentra en el cantón de Tibás, por lo que se propone implementar un carril exclusivo desde el cruce del bar mi taberna, el cual se muestra en la Figura 70, hasta el inicio del par vial en el centro de Santo Domingo, donde se produce el giro conflictivo 1, por lo que se tendría una ampliación de 5 km de carril exclusivo. Dicho tramo es de suma importancia para la mejora del transporte público, ya que es donde se tienen bajas velocidades de operación en hora pico, esto debido a que presenta un alto flujo de vehículos particulares y además las paradas de transporte público actualmente no tienen bahías de estacionamiento, por lo que al detenerse en las paradas del centro de Santo Domingo se produce congestión ya que se bloquea un carril;

por lo que estas mejoras no solo son en pro del transporte público sino también de mejorar la vialidad del cantón.

Una ventaja que se tiene para este tramo de carretera es que ya se están realizando mejoras en la infraestructura de la zona, por lo que esto agilizaría los trabajos de implementación del carril exclusivo, en la sección 4.4.2 se dan más detalles de los carriles exclusivos.



Figura 72. Intersección de inicio de nuevo carril reversible

Así mismo, se debe de pensar en la implementación de vehículos articulados para poder ofrecer un buen nivel de servicio en la ruta troncal, esto debido a la alta frecuencia que demanda esta ruta troncal. Los buses articulados permiten una mayor cantidad de pasajeros por viaje, lo que reduce los tiempos de espera de los usuarios. Así mismo se puede pensar en la implementación de servicios exprés o directos

Cabe destacar la flotilla actual de la ruta 400-A brinda actualmente un servicio de 24 horas, donde de 5 am hasta las 10 pm se opera con una frecuencia mínima de 5 minutos, alcanzando una frecuencia máxima de 3 minutos en las horas pico, tanto de la mañana como de la tarde. Además de esto, la empresa cuenta con una edificación en el centro de San José la cual funciona como terminal actualmente, lo que facilitaría el abordaje y desabordaje de pasajeros en esta ruta principal ya que esta misma funcionaria como terminal de la ruta troncal.

#### 4.1.1 Troncal 2: San José – San Miguel x Pista

Analizando la Figura 53 se puede observar como el tramo que va desde la calle 3 en el centro de San José, pasando por el cruce conocido como la República y terminando en la intersección de San Miguel posee la segunda frecuencia más alta del sector, de cada 5 min. Esto se debe esta vía es la segunda más importante del sector de estudio, ya que es por ella que transitan las demás rutas que no transitan en la ruta 5, esto equivale al 30 % de las rutas analizadas.

Una de las ventajas que posee el tramo de ruta escogido, es que un 75 % de su ruta es sobre la ruta 32, donde en el mes de septiembre se inauguró el nuevo puente sobre el río Virilla, conocido como el nuevo puente del Saprissa, lo que genera mayor fluidez en la carretera en la hora pico y por lo tanto disminuye el tiempo de viaje.

Además de esto, se está ampliando a 4 carriles el tramo entre dicho puente y la intersección a la altura de San Miguel, conocida por el restaurante Doña Lela, por lo que se esperan buenos tiempos de operación, lo que provoca que el carril exclusivo en este tramo no sea necesario, ya que los tiempos de viaje serían aceptables por el buen flujo que presentaría la carretera.

En el siguiente cuadro se presentan las rutas que serían absorbidas por esta troncal, cabe destacar que las 5 rutas comparten este tramo de carretera y se dividen en el cruce de San Miguel, por lo que implementar una frecuencia alta con buses de mayor capacidad en este trayecto daría un mejor nivel de servicio a todas estas rutas.

Cuadro 17. Frecuencias en hora pico y cantidad de buses de los ramales del sector de San Miguel.

Descripción del ramal	Frecuencia en hora pico (min)	Cantidad de buses
Calle Higinia-Santo Tomás-Santo Domingo-San José	60	1
Las Juntas-San Luis-San José X Pista	30	2
Los Ángeles-San Luis-San Miguel-San José X Pista	10	6
San José-Barrio Virginia-Barrio Socorro-Pista Urbano	60	1
San José-Cuatro Esquinas De San Miguel-Los Ángeles-Proyecto De Vivienda La Zamora	30	2

En el siguiente mapa se presenta la ruta troncal 2, con sus respectivas paradas, debido a que se quiere disminuir el tiempo de viaje de las rutas que abastecen al sector noroeste del sector, no se tendrán muchas paradas a lo largo de la ruta siendo estas un total de 5. Se eliminarán solamente 2 paradas de las que poseen actualmente las rutas que transitan este tramo, una cerca del paso elevado entre la ruta 32 y la ruta 100 y el otro cerca del intercambio entre la ruta 32 y la ruta 101, esto debido a que no hay espacio suficiente para realizar una parada en este lugar. Se recomienda evaluar la posibilidad de crear alguna obra de infraestructura que permita realizar una parada en estos puntos, esto se debe de hacer sin poner en riesgo la vida de los usuarios, ya que actualmente esperan el autobús en la calzada de la carretera. Al igual que la troncal 1, se debe de implementar el uso de buses articulados, ya que así se disminuye el tiempo de espera de los usuarios al momento de realizar los transbordos.

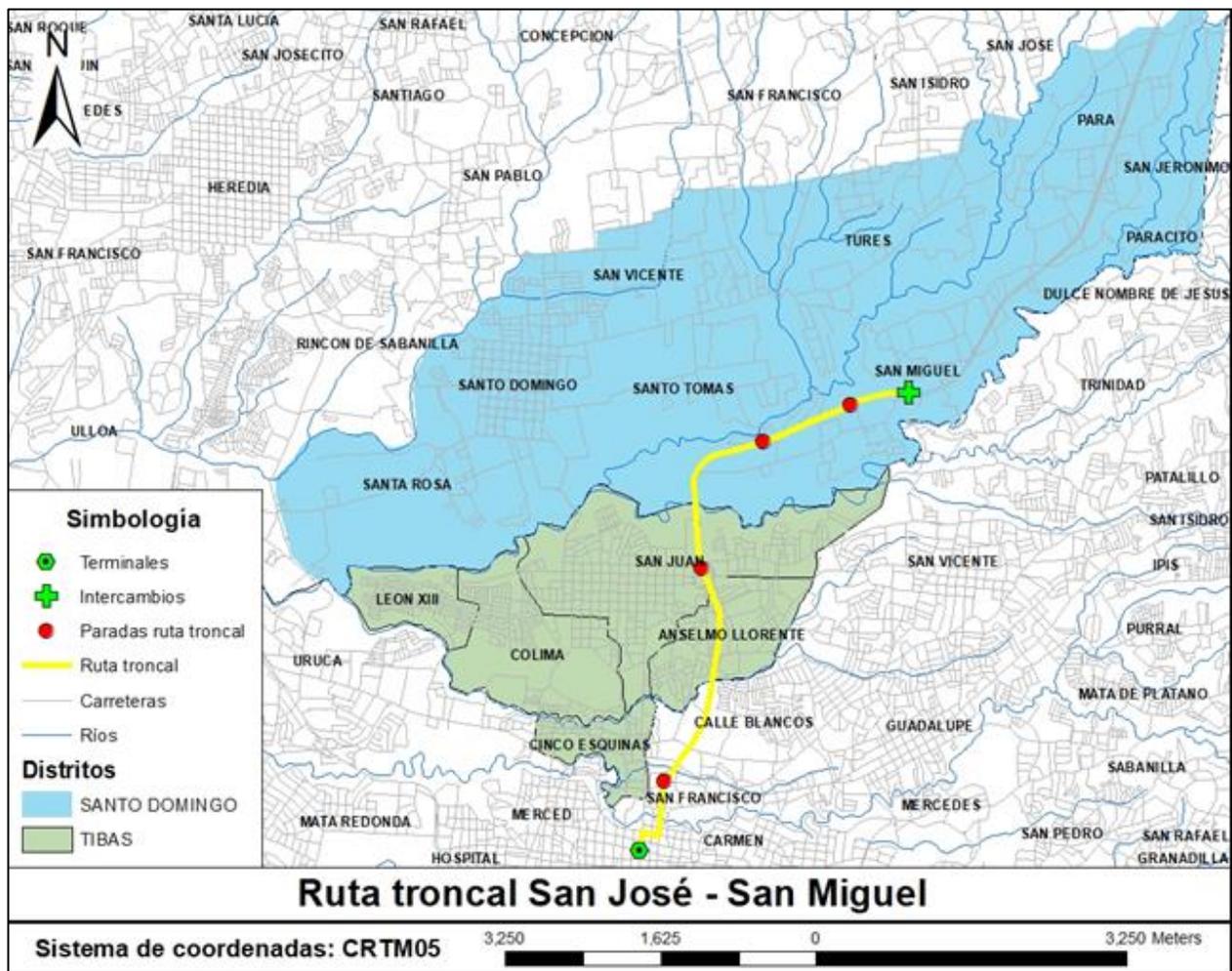


Figura 73. Ruta troncal San José – San Miguel

## 4.2. Rutas secundarias

Para definir las rutas secundarias de este estudio se tomó como base las rutas sugeridas en el estudio realizado por EPYPSA – SIGMA GP en el año 2015, ya que según las visitas al campo se consideró que son las más adecuadas para dar una mejor cobertura a los distritos de la zona de estudio.

En el sector se tendrán un total de 18 rutas secundarias, las cuales son muy similares a los ramales que se encuentran actualmente, con la diferencia de que ya no se debe de ingresar al centro de San José, si no que el recorrido llegará hasta el intercambio más cercano; sin embargo, algunas rutas si sufrieron modificaciones de su recorrido actual, esto para dar mayor fluidez al sector. El sector cuenta con un total de 3 intercambios principales, los cuales serán: el parque de Santo Domingo, el parque de Tibás, centro de San Miguel.

En el siguiente cuadro se muestra la distribución de las rutas secundarias según su estación de intercambio, lo cual se ilustra en los siguientes mapas. En la Figura 73 se muestran las rutas que harían transbordo en el intercambio del centro de Santo Domingo, la 73 se presentan las del sector de Tibás y la Figura 75 las de San Miguel.

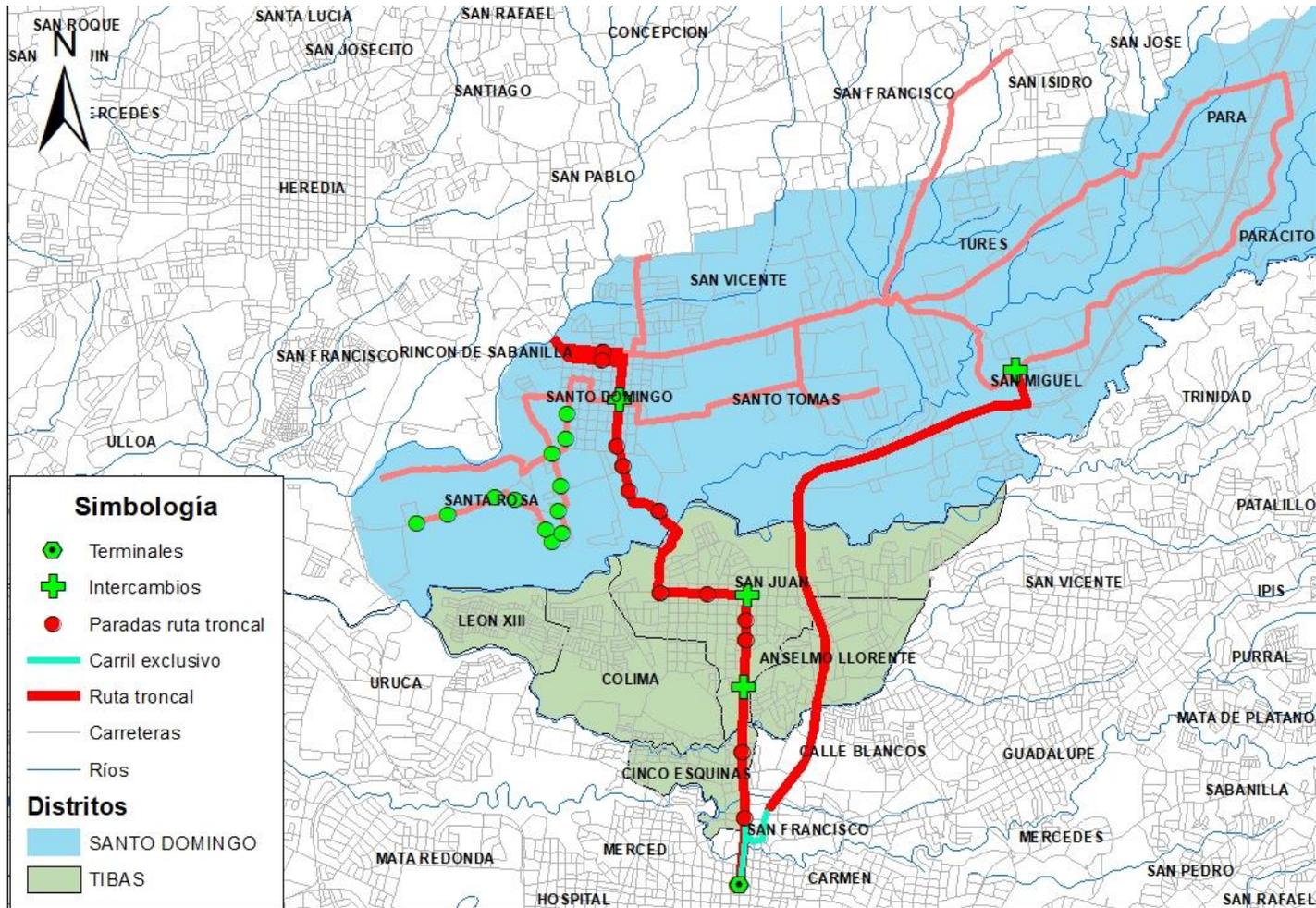
Cuadro 18. Ramales según su intercambio con la ruta troncal

Descripción del ramal	Intercambio
Barrio Virginia-Florida-Tibás	Tibás centro
Florida-Tibás-Cuatro Reinas	Tibás centro
El Invu-Linda Vista	Tibás centro
Jardines-Santa Mónica-Tibas	Tibás centro
Tibás-Las Reinas-Cuatro Reinas	Tibás centro
Almendros-Cuatro Reinas Por El Cruce ruta 5 "Bar mi Parcela"	Tibás cruce mi Parcela
Bajo Piuses	Tibás cruce mi Parcela
Florida-Llorente-Cruce ruta 5 "Bar mi Parcela"	Tibás cruce mi Parcela
Barrio Virginia-Barrio Socorro-San Miguel	San Miguel
Cuatro Esquinas De San Miguel-Los Ángeles-Proyecto De Vivienda La Zamora	San Miguel
Las Juntas-San Luis-San Miguel x Pista	San Miguel
Los Ángeles-San Luis-San Miguel	San Miguel
Calle Higinia-Santo Tomás-Santo Domingo	Santo Domingo
Mega Súper-La Victoria-Santa Rosa-Santo Domingo	Santo Domingo
La Vigui-Santo Domingo	Santo Domingo
San Martín-Santa Rosa-Santo Domingo	Santo Domingo
Santo Domingo-Santo Tomás-Los Ángeles-San Miguel-San Luis	Santo Domingo
Barrio Lourdes-Quebradas-Santo Domingo	Santo Domingo

Debido a que el recorrido de los ramales es de menor longitud se modificó un poco la ruta para aumentar el nivel de servicio del ramal, abarcando mayor territorio y dando mejor abastecimiento a la población. Dicha situación pasa debido a que, ya que no irían hasta el centro de San José, como lo hacen actualmente, un ejemplo de esto es el ramal Cuatro Reinas por Tibás, la cual su recorrido se va a ver reducido a solo 1.8 km, lo que equivale a un 30 % de su recorrido actual. Se espera que al momento de implementar el sistema troncalizado como mínimo se mantenga dicha frecuencia o se mejore. Debido a que se disminuirá el tiempo de ciclo de cada autobús es posible aumentar la frecuencia del ramal, lo cual debería ser considerado por las empresas autobuseras.

Para el caso del sector de Tibás, se propone cambiar la ruta San José – Tibás – Cuatro Reinas, la cual opera de esta forma actualmente, por una que realice su recorrido comenzando en la plaza de deportes de cuatro Reinas, pasando por el centro de Tibás, donde se encontrará el intercambio con la ruta troncal, y siguiendo hasta la Florida; realizando el retornando por la misma ruta. Esto funcionaría para poder abastecer tanto el sector de Cuatro Reinas como el sector de Florida, permitiendo así la circulación de personas entre estos barrios y teniendo como eje central el parque de Tibás, donde se realizaría el intercambio con la ruta troncal para aquellos pasajeros que tengan como destino el centro de San José o la ciudad de Santo Domingo. Cabe destacar que el intercambio del parque de Tibás es donde convergen las rutas que más usuarios transportan.

Las paradas fueron elegidas en base a las que poseen actualmente los diferentes ramales del sector de estudio, esto debido a que se tenía buena cobertura con esa distribución, sin embargo, se agregaron algunas donde se consideró que se debía de aumentar el alcance de la red de transporte público. En las Figuras 72, 73 y 74 se muestran las rutas secundarias clasificadas según su estación de intercambio, cabe destacar que debido a que actualmente existe un ramal que conecta el centro de Santo Domingo con los distritos de San Miguel y San Luis, se mantendrá en operación este ramal, sin embargo, hará intercambio tanto en San Miguel como en Santo Domingo.



### Ruta troncal en el centro de Santo Domingo

Sistema de coordenadas: CRTM05 3,250 1,625 0 3,250 Meters

Figura 74. Rutas secundarias en el sector de Santo Domingo

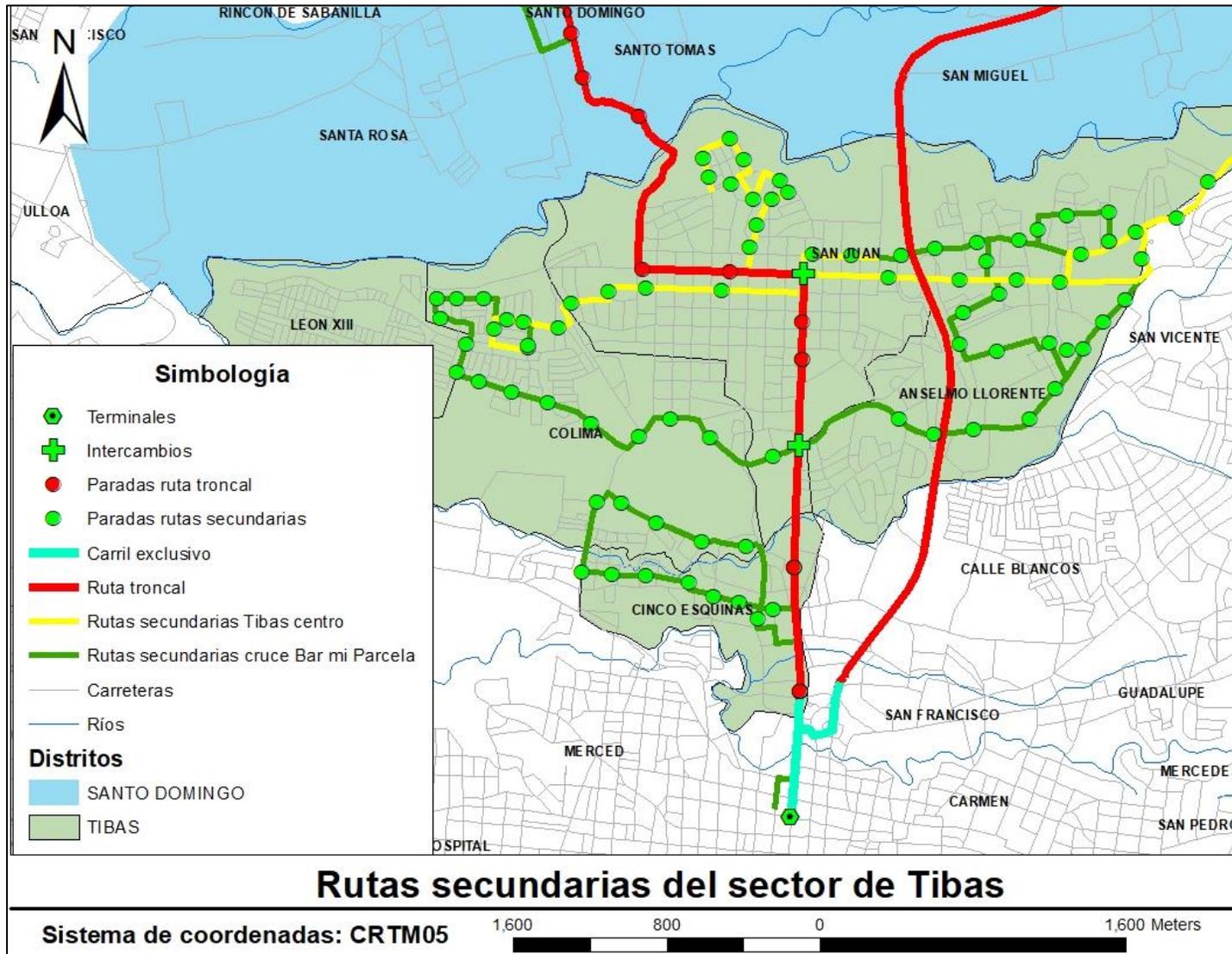
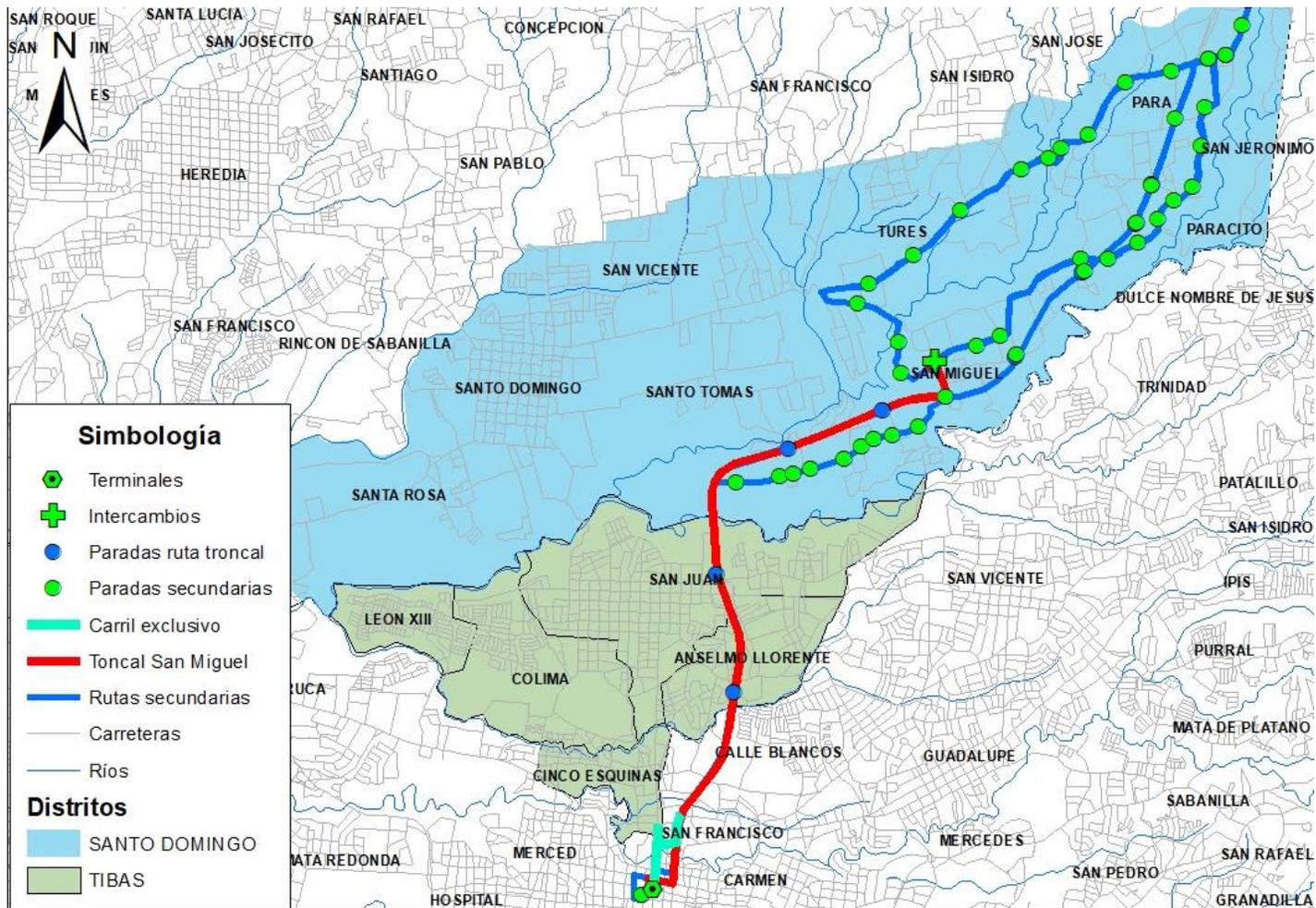


Figura 75. Rutas secundarias en el sector de Tibás



### Rutas secundarias en el sector de San Miguel

Sistema de coordenadas: CRTM05

3,200 1,600 0 3,200 Meters

Figura 76. Rutas secundarias en el sector de San Miguel

### 4.3. Análisis de la propuesta de sectorización

Se propone modificar la frecuencia de las rutas secundarias, ya que como el recorrido que se tiene que realizar es mas corto esta puede aumentar, y así beneficiar el nivel de servicio de estos ramales. Ya que algunas de estas rutas presentan frecuencias de hasta 60 minutos, se propone tener un mínimo de 20 minutos, sin embargo, todos los ramales se verán beneficiados con un aumento de la frecuencia. En los ramales de mayor demanda se espera poder tener una frecuencia mínima de 7 minutos.

Se utilizará la misma flota ya que es necesaria para poder aumentar las frecuencias en los ramales, mientras que en la ruta troncal se pasara a utilizar buses articulados. Actualmente no existe un ramal que sea solamente San Jose – San Miguel, por lo que se propone que esta ruta troncal tenga una frecuencia de 5 minutos con una flota de 20 buses articulados.

Para las rutas secundarias, se propone una disminución de flota del 30%, pasando de 85 a 60 autobuses convencionales incluyendo todos los ramales del sector, esta disminución se debe a que su recorrido se ve disminuido significativamente, lo que provoca que se pueda dar una mejora de la frecuencia utilizando menos unidades que en la actualidad. Además de esto, esta disminución de flota provoca que los gastos operativos de la empresa autobusera se vean disminuidos. En el cuadro 19 se muestra la frecuencia y la flota de las rutas troncales mientras que en el cuadro 20 el de los ramales o rutas secundarias.

Cuadro 19. Frecuencias y flota de las rutas troncales

<b>Ruta troncal</b>	<b>Frecuencia en hora pico actual (min)</b>	<b>Flota actual (Autobús convencional)</b>	<b>Frecuencia en hora pico propuesto (min)</b>	<b>Flota propuesta (Autobús Biarticulado)</b>
Santo Domingo – Tibás – San José	3	47	3	25
San Jose - San Miguel	-	-	5	20

Cuadro 20.Frecuencias y flota de rutas secundarias

<b>Descripción del ramal</b>	<b>Frecuencia en hora pico actual (min)</b>	<b>Flota actual</b>	<b>Frecuencia en hora pico propuesto (min)</b>	<b>Flota propuesta</b>
Barrio Lourdes-Quebradas-Santo Domingo-Tibás-San José	12	6	7	4
Barrio Virginia-Florida-Tibás-San José	60	2	20	2
Calle Higinia-Santo Tomás-Santo Domingo-San José	60	2	20	2
Florida-Llorente-San José	10	10	7	6
Florida-Tibás-San José	10	7	7	4
La Vigui-Santo Domingo-Tibás-San José	20	5	10	3
Las Juntas-San Luis-San José X Pista	30	4	15	2
Los Ángeles-San Luis-San Miguel-San José X Pista	10	8	7	4
Mega Súper-La Victoria-Santa Rosa-Santo Domingo-San José	10	8	7	4
San José-Almendros-Cuatro Reinas Por El Cruce	12	6	7	4
San José-Bajo Piuses	15	4	10	4
San José-Barrio Virginia-Barrio Socorro-Pista Urbano	60	2	20	2
San José-Cuatro Esquinas De San Miguel-Los Ángeles-Proyecto De Vivienda La Zamora	30	3	15	3
San José-Cuatro Reinas Por Tibás	10	6	7	4
San José-El Invu-Linda Vista	30	2	15	2
San José-Jardines-Santa Mónica	60	1	20	2
San José-Tibás-Las Reinas-Cuatro Reinas	30	2	15	2
San Martín-Santa Rosa-Santo Domingo-San José	30	2	15	2
Santo Domingo-Santo Tomás-Los Ángeles-San Miguel-San Luis	30	5	15	5

Una vez definida la red de transporte público del sector de estudio, la cual se divide en las rutas secundarias y rutas troncales, se puede comenzar a analizar la influencia que esta tendrá en la población. En los siguientes mapas se muestran el análisis el sector de estudio con esta nueva configuración de rutas de autobús.

Una de las características que posee esta ruta es que la mayor parte de su recorrido es transitada por la mayoría de las rutas del sector de análisis, alcanzando una frecuencia mínima en el tramo desde Santo Domingo Centro hasta el centro de Tibás, donde solamente transitan las rutas que se encargan de abastecer el cantón de Santo Domingo. En su zona de mayor frecuencia, que es donde más rutas comparten el recorrido, se llega a un total de 13, ya que todas las rutas de sector deben de transitar al menos desde la salida en el centro de San José hasta el cruce de la ruta 5 y la ruta 101, esto equivale en promedio al 34 % del recorrido total de las rutas que abastecen el cantón de Tibás, las cuales son las que mayor demanda poseen.

En la Figura 76 se muestra la zona de influencia de las paradas a los 525 metros de distancia de las paradas, donde se puede ver que se tiene un aumento significativo según la influencia con la configuración de la actualidad. Como se observa en la Figura 77 se compara esta zona de influencia con la densidad de la población de los cantones, donde esto fue una de las principales razones para elegir las nuevas rutas de los ramales y las nuevas paradas.

En las Figuras de la 78 a la 80 se muestra en detalle esta zona de influencia para cada zona del sector de estudio, las cuales son Santo Domingo, San Miguel y Tibás, esto debido que acá es donde se encontraran los intercambios de mas importantes de las rutas troncales con las secundarias. Como se puede observar en los diferentes mapas, casi el total de las carreteras están cubiertas por esta zona de influencia, lo que quiere indicar que la mayoría de la población tiene acceso a la red de transporte público a no más de 525 metros de caminata desde sus hogares.

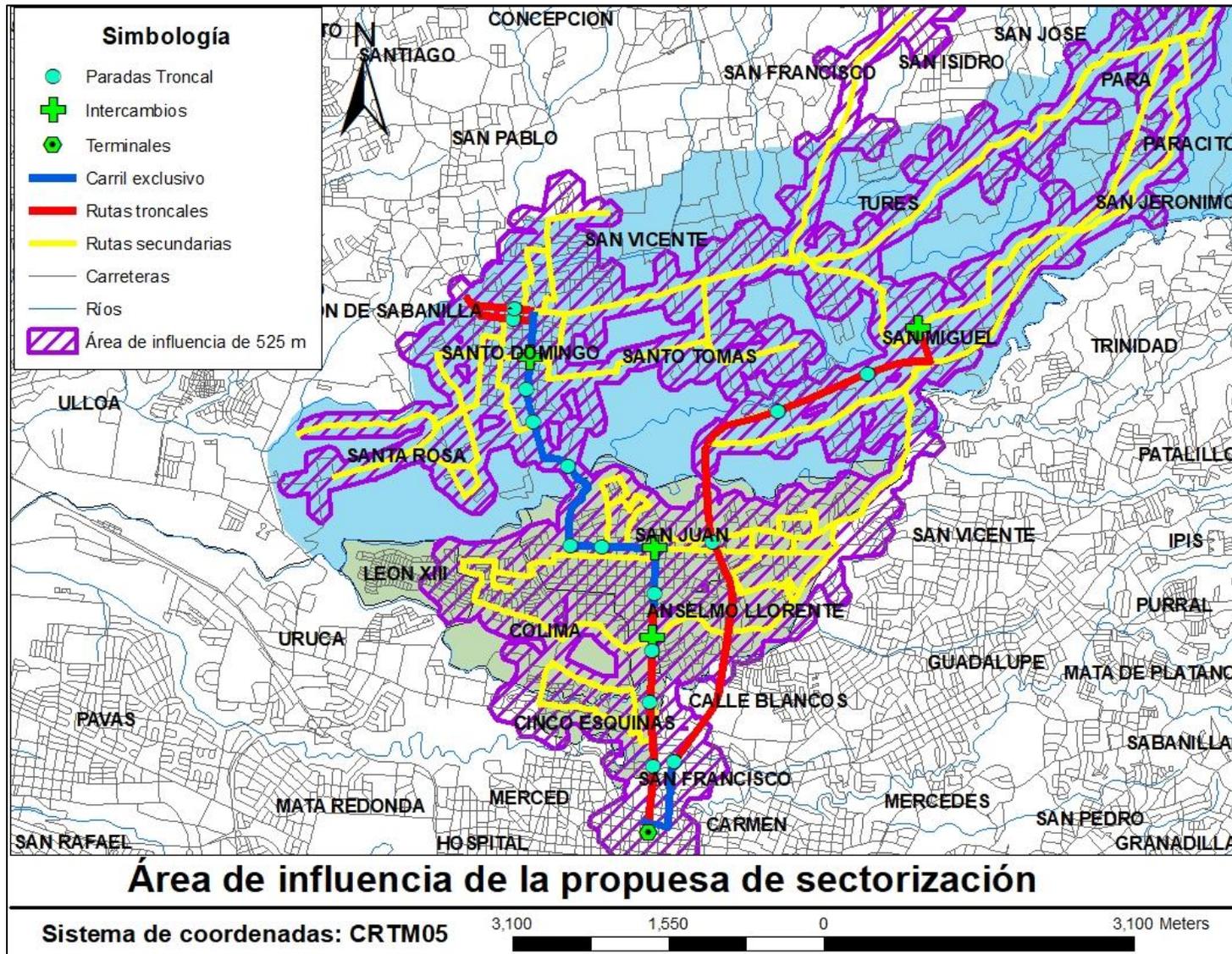


Figura 77. Área de influencia de la propuesta de sectorización

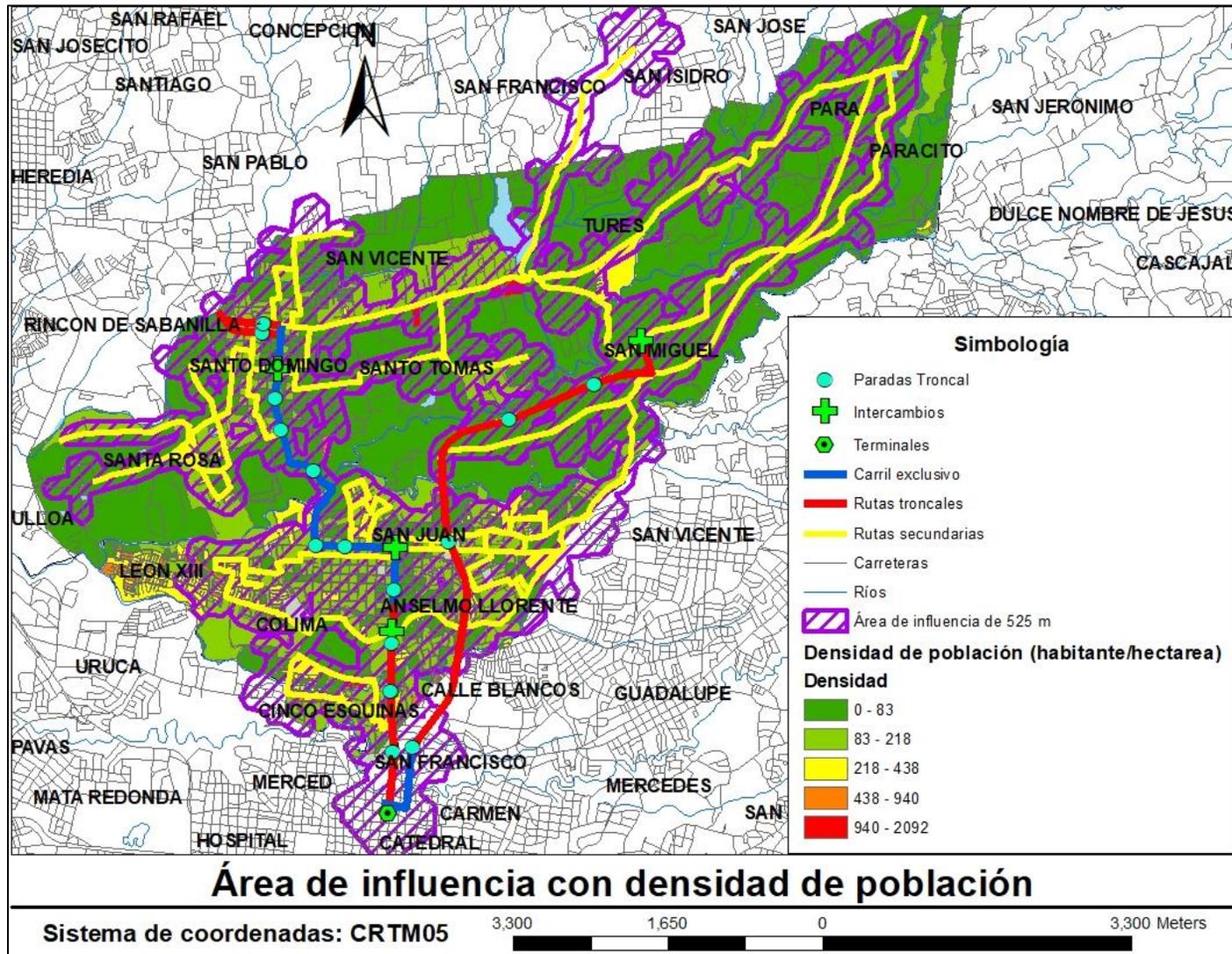


Figura 78. Área de influencia de la propuesta de sectorización junto con la densidad de población

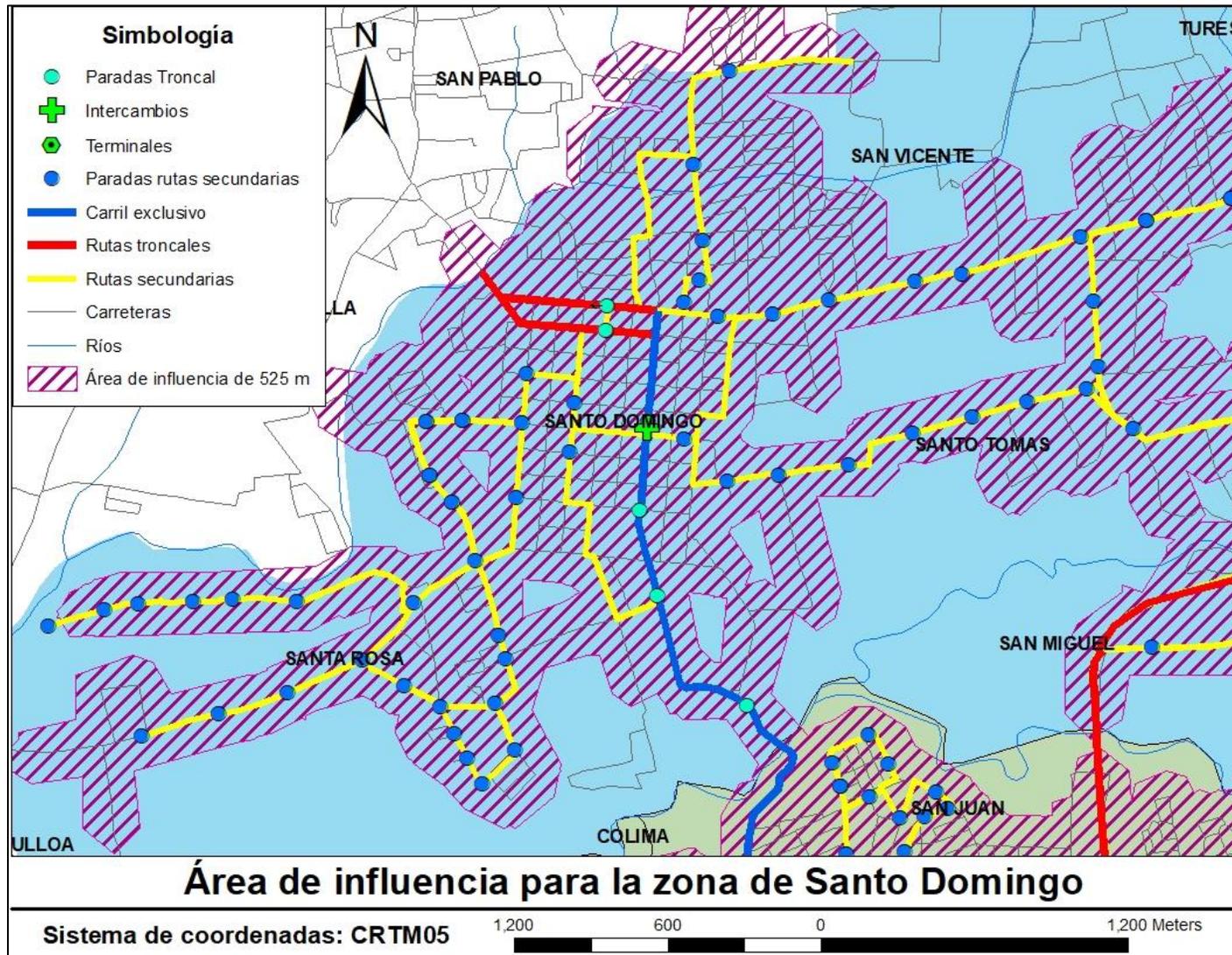


Figura 79. Área de influencia de la propuesta de sectorización en la zona de Santo Domingo

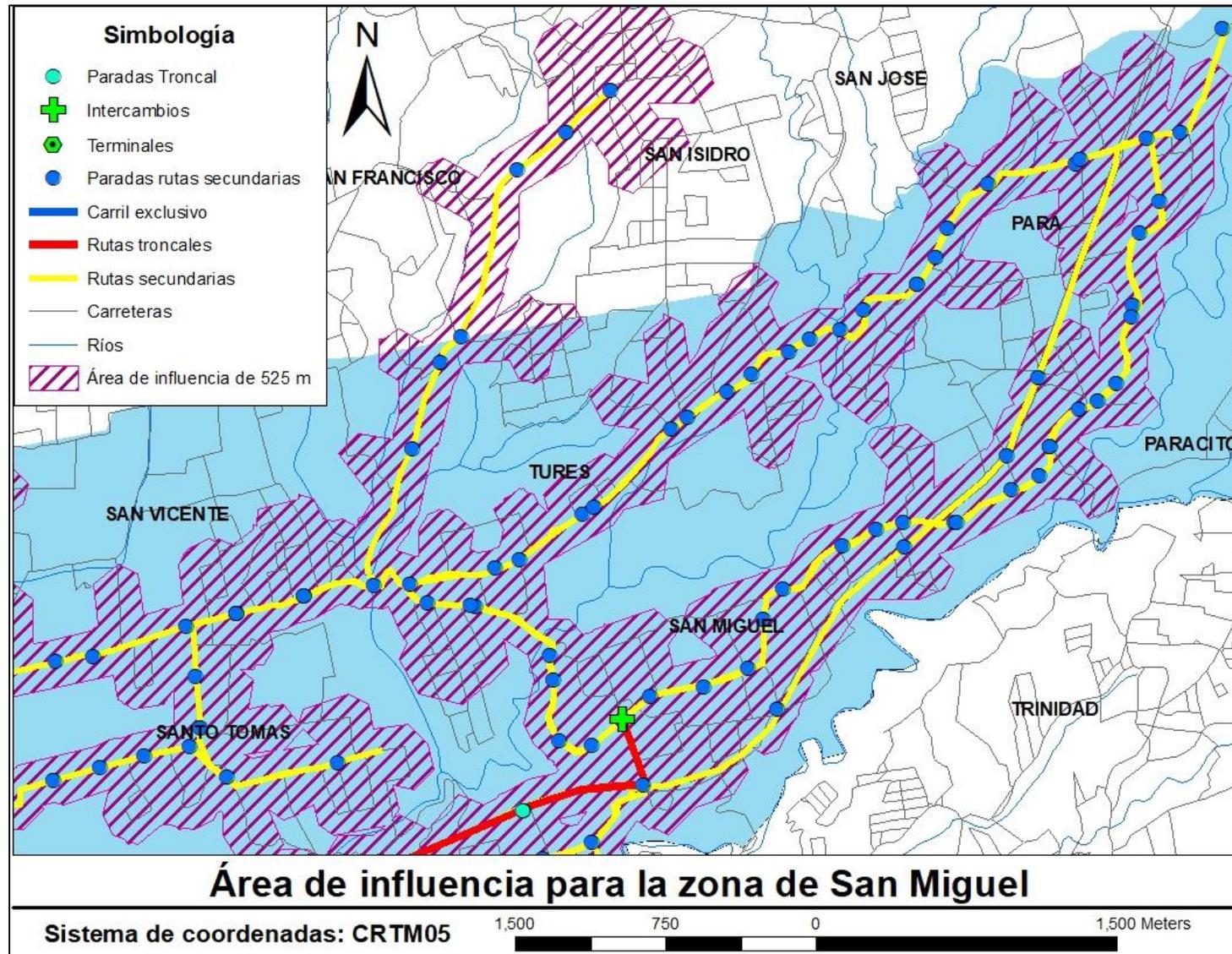


Figura 80. Área de influencia de la propuesta de sectorización en la zona de San Miguel

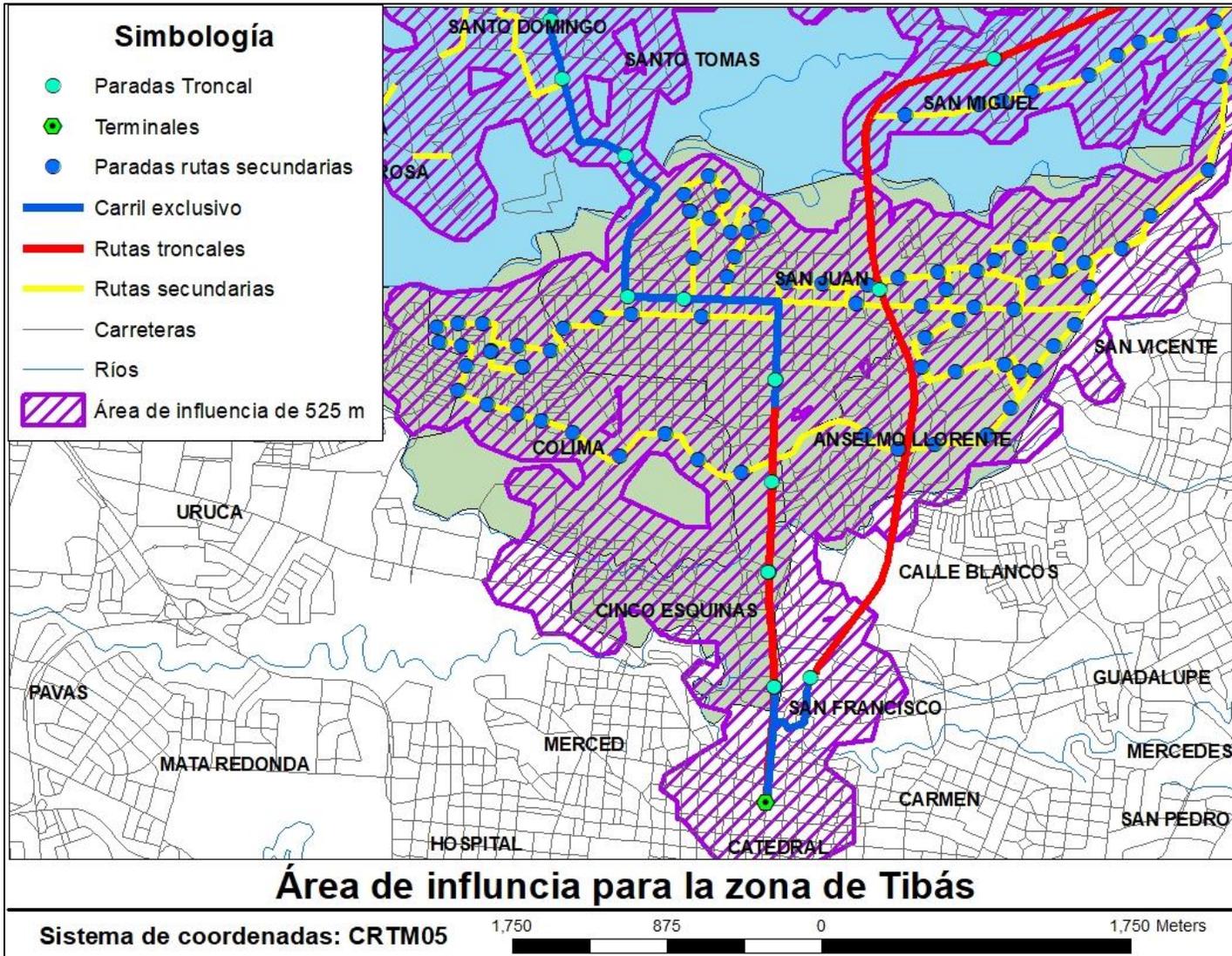


Figura 81. Área de influencia de la propuesta de sectorización en la zona de Tibás

## **4.4. Infraestructura sugerida**

### *4.4.1 Intercambios*

Es necesario la construcción de nueva infraestructura para los intercambios principales que van a tener las rutas troncales con las secundarias, ya que se espera que sea en estos puntos donde se den mayor cantidad de abordajes y desabordajes en las rutas, debido a que es donde convergen las rutas secundarias con las rutas troncales. Como se observa en los mapas anteriores, se tendrá un total de 4 intercambios principales, 3 en la troncal Santo Domingo – Tibás – San José y 1 en la troncal San Miguel – San José.

Estos intercambios deben de proporcionar facilidad y rapidez de abordaje y desabordaje, por lo que se propone la construcción de plataformas para así agilizar este proceso, por otro lado, se recomienda la construcción de bahías para los autobuses, esto para que no interfieran con la salida o entrada de otros vehículos. Debido a las obras importantes que se deben construir en los lugares propuestos para los intercambios, ese decidió elegir lugares públicos como puntos de intercambio, esto para que así se facilite la tramitología para intervenir estos espacios y así mismo, pensar en una forma de integrar estos intercambios con los espacios públicos.

Además, la construcción de todos los intercambios debe ser de manera abierta e integrada con la ciudad, esto para crear lugares agradables para la comunidad, pero facilitando el abordaje y desabordaje de los usuarios. Las paradas intermedias de la ruta troncal deben poseer también una bahía de estacionamiento, esto para no interferir con el tráfico vehicular en los sectores donde sea carril compartido.

Para el intercambio del centro de Tibás se recomienda realizarlo en la esquina noreste de parque central ya que se dispone de buen espacio, se propone utilizar parte de parqueo de la iglesia católica, así como parte de la esquina del parque central. Se recomienda realizar una infraestructura integral, esto para crear un espacio agradable para la comunidad.

Se debe de realizar bahías de estacionamiento del lado del parque para el sentido Tibás – San José, mientras que para el sentido contrario se deben de realizar en el lado de la iglesia católica. Se recomienda realizar un proyecto de urbanismo para poder dar la mejor integración a este intercambio y así poder realizar los transbordos de la forma más eficientes. En las siguientes imágenes se presentan fotografías actuales del lugar donde se

recomienda la construcción de esta infraestructura, en la Figura 81 se muestra el lado del parque de Tibás mientras que en la 82 el lado de la iglesia católica.



Figura 82. Área para intercambio del parque central de Tibás



Figura 83. Área para intercambio en la iglesia católica

En el intercambio de San Miguel se propone utilizar el espacio sobre la carretera “Los Ángeles”, el cual se muestra en una vista aérea en la Figura 83. Este lugar dispone de 20 m de derecho de vía, ya que cuenta con 3 carriles y 2 bahías de estacionamiento, una a cada lado de la carretera. En la Figura 84 se muestra una fotografía actual del lugar, mientras que en la figura 85 se muestra el espacio disponible en esa parte de la carretera.

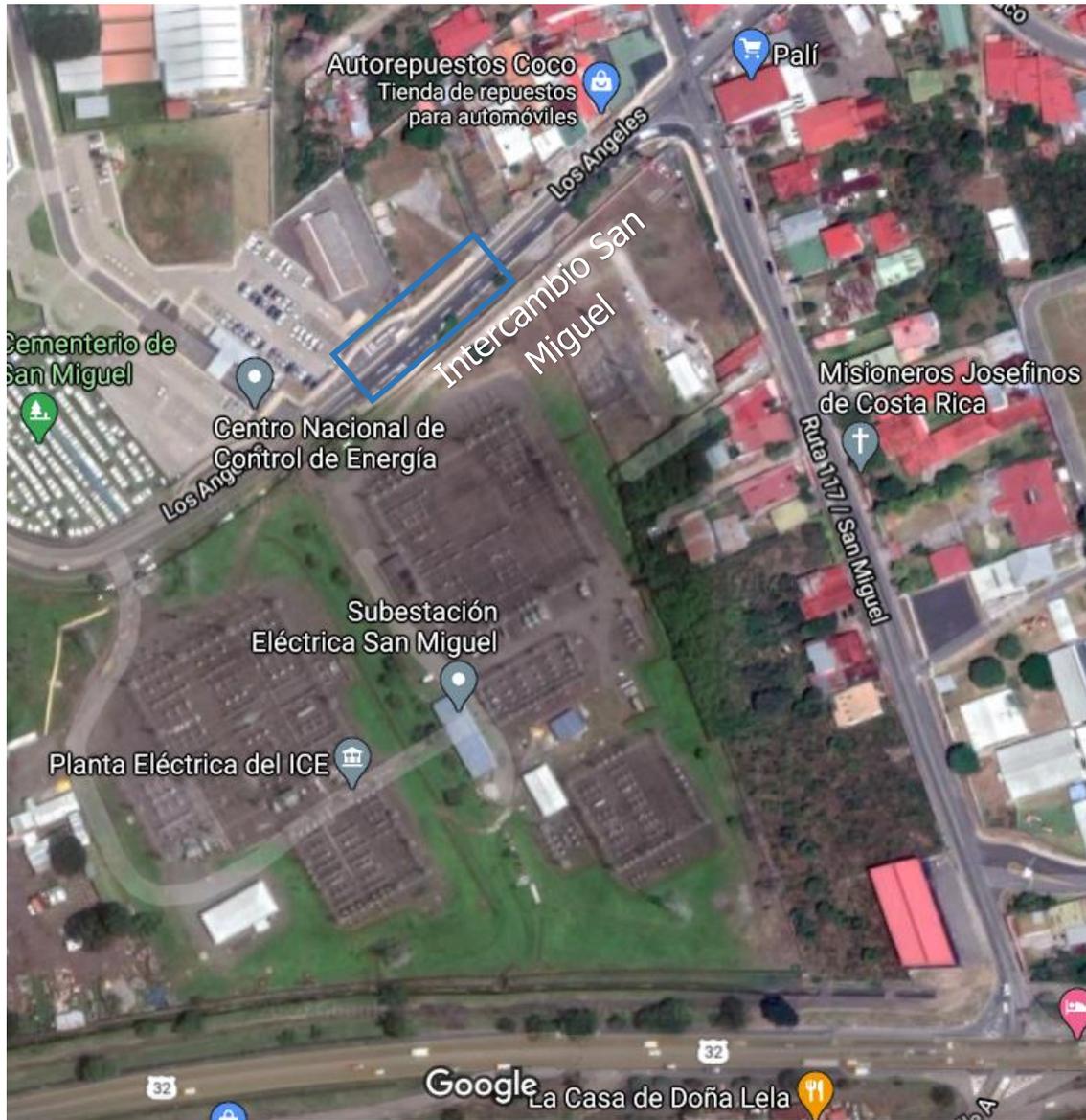


Figura 84. Zona para la construcción del futuro intercambio de San Miguel



Figura 85. Terreno para futuro intercambio en San Miguel



Figura 86. Espacio vial disponible para futuro intercambio en San Miguel

Para el caso del intercambio a la altura del Bar Mi Parcela en el cantón de Tibás, se propone que se construyan de tal manera que no interfieran con el tráfico de la zona, por lo que se deberán construir bahías para facilitar el abordaje y desabordaje de pasajeros, en la Figura 86 se muestran el espacio donde se podría construir dicho intercambio. Debido a que en estos lugares no se encuentra un punto en común para la construcción de las paradas de autobús, situación que sí sucede en los parques cantonales en los intercambios antes mencionados, se recomienda la realización de un estudio para determinar la necesidad de un puente peatonal en la zona, esto previendo que es posible que se aumente el número de peatones que quiera cruzar la calle en este punto, debido a que puede tomar autobuses en sentido 1-2 o 2-1. Por lo que la implementación de un puente peatonal ayudaría a aumentar la seguridad peatonal de esta zona y a mejorar el nivel de servicio de la ruta, ya que así se evita que se esté interfiriendo el flujo de vehículos debido al uso del semáforo peatonal.

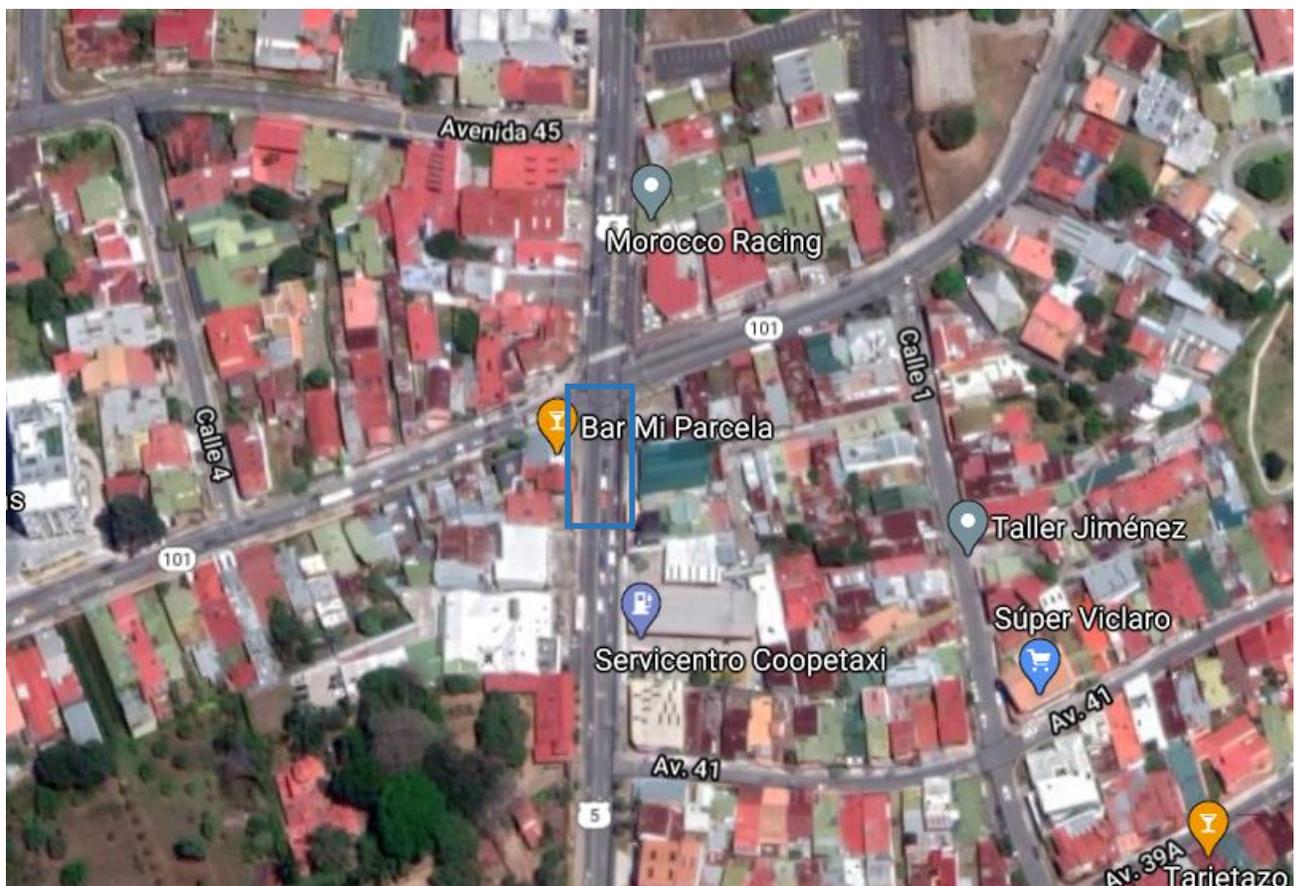


Figura 87. Zona para el intercambio frente al Bar mi Parcela en la ruta 5

Para el intercambio de Santo Domingo se propone realizarlo en 2 zonas, para el sentido Tibás – Santo Domingo se debe de realizar en la ruta del futuro carril exclusivo, esto construyendo bahías para no interferir con el flujo de autobuses de la ruta troncal. En la figura 87 se presenta el lugar recomendado para la construcción de estas bahías, una en cada sentido, en la figura 88 se observa una fotografía actual de dicho lugar y en la 88 se muestra el espacio disponible para dichas bahías. Se eligió este lugar por ser el más amplio en esta zona y está en frente de un terreno de la CCSS, por lo que se podría remodelar esa edificación para tener aún más espacio, así mismo, en el lugar se encuentra un espacio utilizado como parque público, lo que se podría considerar como un posible terreno de expropiación en caso de que se necesite más espacio. El ingeniero Jorge Díaz (Díaz, 2019) realizó un diseño para estas bahías, por lo que estas se presentan en la Figura 90.

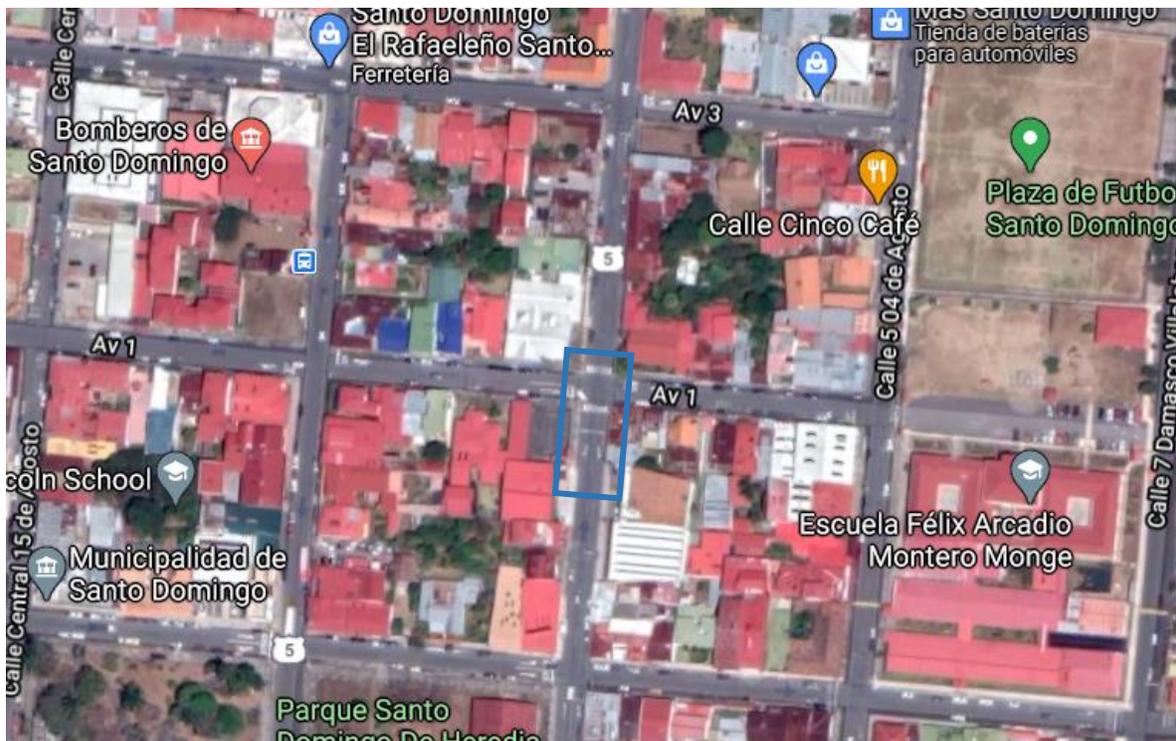


Figura 88. Lugar para la construcción de bahías de estacionamiento para el intercambio de Santo Domingo



Figura 89. Fotografía actual del lugar de construcción



Figura 90. Espacio disponible para la construcción de bahias

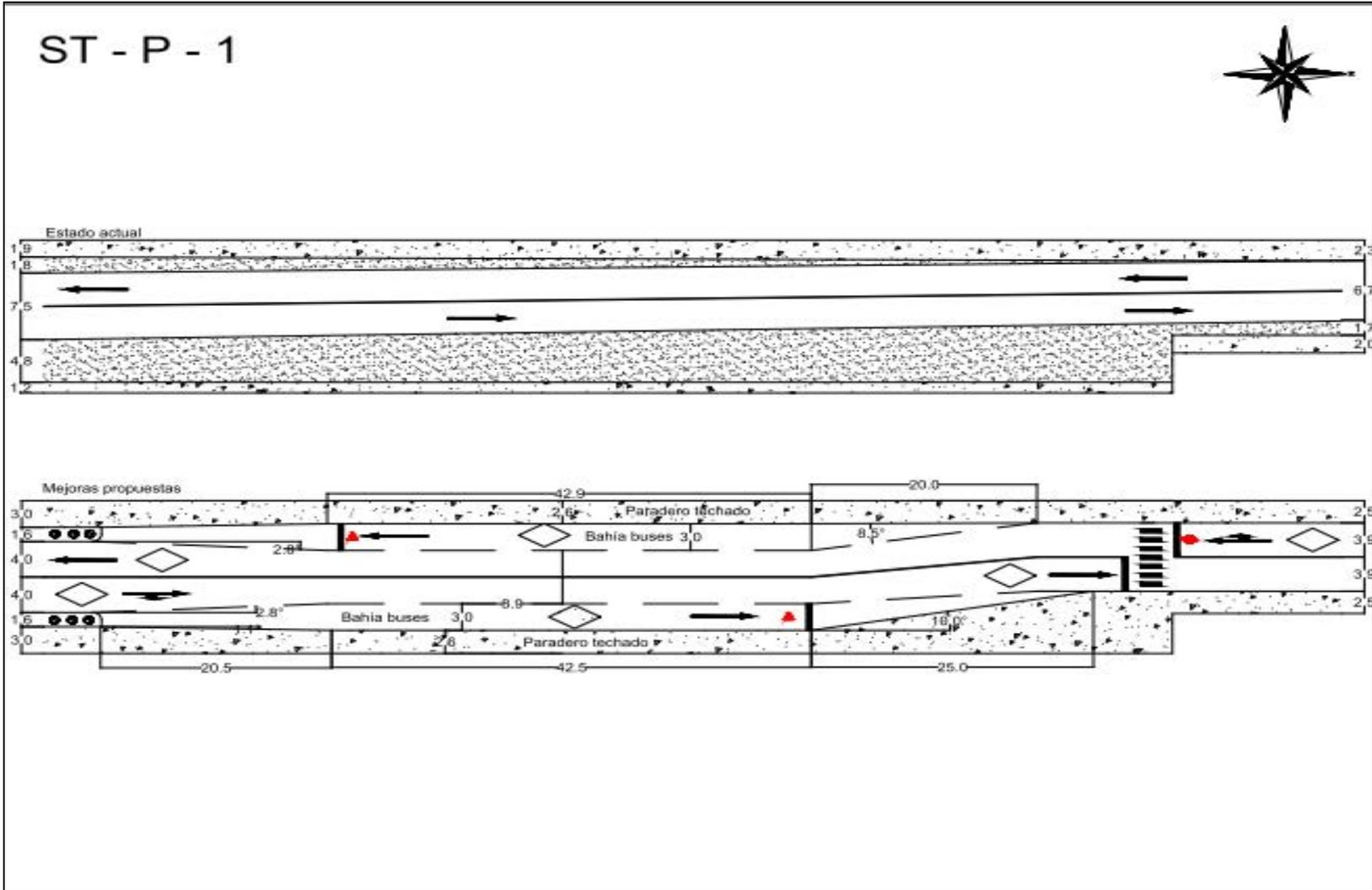


Figura 91. Diseño de bahías de intercambio de Santo Domingo  
Fuente: Diaz,2019

#### *4.4.2 Carriles exclusivos*

Como se ha mencionado anteriormente, los carriles exclusivos es un elemento importante a la hora de considerar un sistema de transporte público troncalizado, ya que se debe de garantizar un buen nivel de servicio sobre la ruta troncal, lo que se puede lograr con la implementación de carriles exclusivos, ya que ayudan considerablemente a la disminución de los tiempos de viaje.

En el sector de estudio se tiene un total de 1.3 km de carril exclusivo, este implementado en la zona del centro de San Juan de Tibás. Dicho carril se implementó debido a la gran congestión que se provoca sobre la calle Avenida 65, por lo que se decidió a establecer un carril exclusivo sobre la Avenida 63, en sentido Santo Domingo – Tibás y viceversa. Se recomienda dar continuidad a este carril exclusivo en los otros tramos de la ruta, tanto del centro de Tibás hasta el centro de San José, como en el tramo que comprende desde el cruce del puente del río Virilla hasta el centro de Santo Domingo.

Para este último tramo mencionado, el carril comenzaría en la intersección del bar mi Taberna, lugar donde actualmente termina el carril exclusivo de Tibás, sin embargo, para la implementación de este se deben de realizar mejoras importantes a la infraestructura del lugar. En este sector ya existen 3 carriles desde dicha intersección hasta el cementerio de Santo Domingo, el único punto de conflicto es el puente sobre el río Virilla, por lo que se recomienda la ampliación de este como prioridad.

Una vez ampliado el puente, se puede implementar el carril exclusivo como un carril central reversible, el cual dependerá de la hora pico del día; en la mañana funcionaría en sentido Santo Domingo – San Jose, mientras que a partir de las 12 pm funcionaría en sentido San José - Santo Domingo. En el momento que se habiliten 2 carriles en ambos sentidos, se debe de implementar el carril exclusivo para ambos sentidos y así poder tener una red continua de carril exclusivo entre ambos cantones. Cabe mencionar que para esta última propuesta es necesario realizar expropiaciones en esta zona.

En el tramo que abarca del cementerio de Santo Domingo al inicio del carril exclusivo que se propone implementar para la entrada al centro del cantón ya se han realizado mejoras de infraestructura, especialmente hidráulicas, esto pensando en una posible ampliación de

este tramo, por lo que sería posible la futura implementación del carril exclusivo en esta vía sin tener tanto atraso en obras complementarias necesarias, el cual sería un carril por sentido. Con estas mejoras a la red vial de la zona se tendría la posibilidad de implementar un carril exclusivo desde el centro de Santo Domingo hasta el centro comercial Plaza del Valle en Tibás, en la Figura 91 se muestra el inicio del carril exclusivo a la altura del centro comercial Plaza del Valle.

Se recomienda también una futura implementación en el tramo faltante de la ruta, del centro comercial Plaza del Valle hasta la terminal en el centro de San José, sin embargo para este tramo se requieren expropiaciones, lo que implicaría más inversión y por ende más tiempo para que se de dicha implementación. Debido a esto se recomienda iniciar con la implementación de tramo antes mencionado y eventualmente ir gestionando lo requerido para implementarlo en este tramo faltante.



Figura 92. Carril exclusivo en el sector de Tibás

En la ruta troncal 2, San Miguel – San José, debido a que esta se encuentra sobre la carretera Braulio Carrillo, la cual cuenta con altas velocidades de operación, no se considera necesario la implantación de un carril exclusivo ya que se espera que el autobús no sufra de muchos retrasos en este trayecto, debido a que con la ampliación del puente conocido como “Puente del Saprissa” y la futura ampliación a 6 carriles del tramo desde el “Puente del Saprissa” hasta el cruce de San Miguel permitirían un libre tránsito en todo el trayecto de la ruta troncal

Para la salida de la terminal del centro de San José se propone la implementación de un carril exclusivo sobre la ruta 5, terminando a la altura de la terminal de buses conocida como “Los Caribeños”, esto facilitaría el trayecto para el transporte público en esta zona. Cerca de la terminal de buses el carril exclusivo será en ambos sentidos, ya que el espacio disponible así lo permite, sin embargo, luego este se reduce a la altura de la estación de Bomberos Metropolitana Norte. Debido a esta situación, en esta parte se tendrá solamente carril exclusivo en el sentido San Jose – Tibás, esto para agilizar la salida de buses que transitan sobre la ruta 5 y ayudar también a los del sector de San Miguel, que tomarán un desvío para incorporarse a la ruta 32, esto se observa en la figura 92. Es importante analizar la posibilidad de implementar este carril exclusivo a lo largo de toda la ruta, por lo que se debe de pensar en la posibilidad de expropiar en ciertos lugares claves para el buen desarrollo de la red, como lo es justamente esta zona, ya que en hora pico a la salida de la ciudad de San José es donde se suele hacer más congestión.

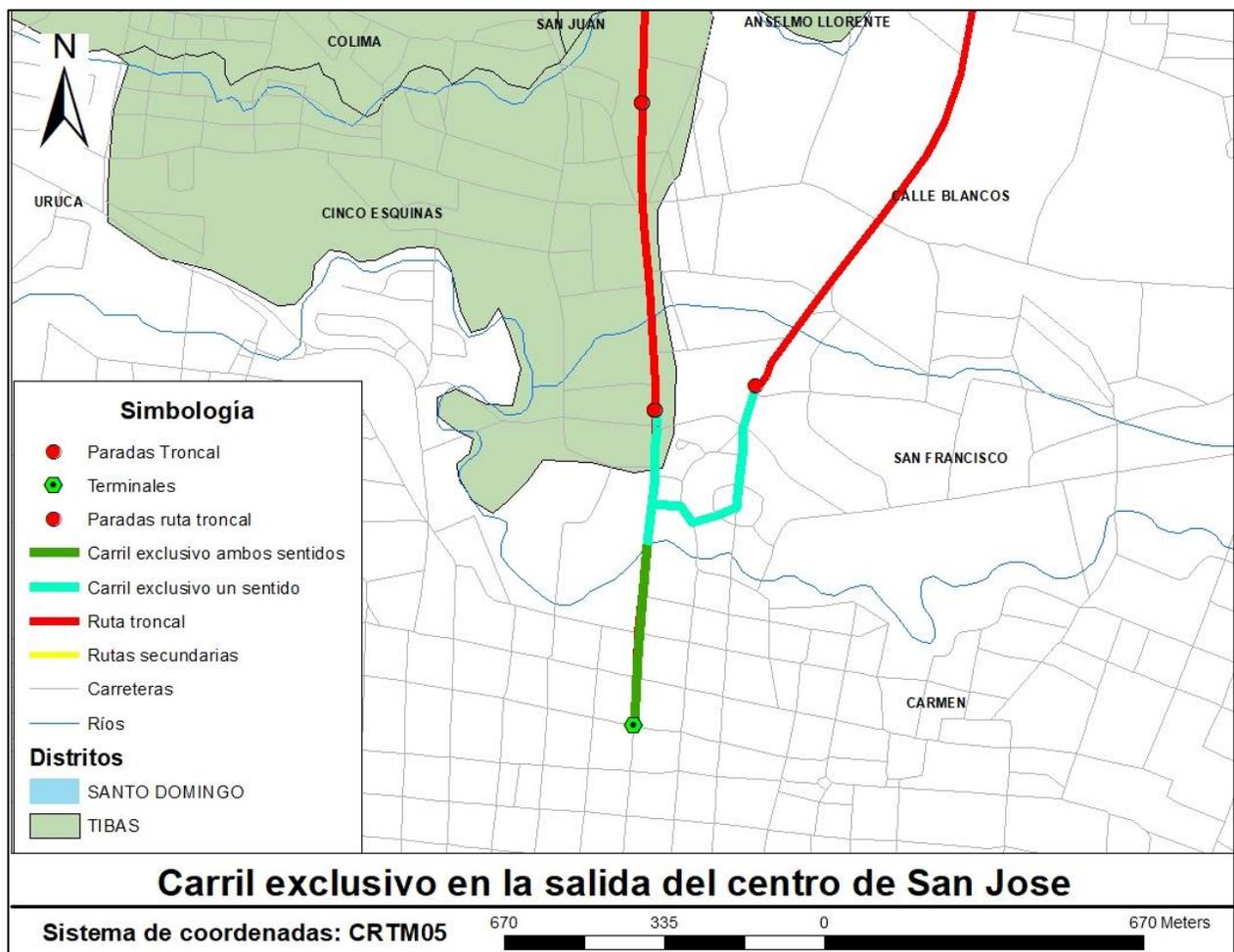


Figura 93. Carril exclusivo a implementar en el centro de San José

#### *4.4.3 Paradas*

Se realizarán mejoras en las paradas sobre las rutas troncales y las rutas secundarias, debido a que esto permitiría la disminución de los tiempos de parada y por ende la disminución de tiempo de viaje.

En el caso de las paradas de la ruta troncal, se recomienda la construcción de plataformas de abordaje, rampas de acceso para personas con dificultades de movilidad y bahías para que el autobús no interfiera con el resto del flujo vehicular. Así mismo, se propone la implantación de pizarras informativas en estos paraderos, esto para dar acceso a los usuarios sobre información importante acerca del transporte público, como lo puede ser: tarifas, horas de servicio, entre otros.

Para las paradas de las rutas secundarias, se recomienda tratar de igualar las condiciones de las paradas de la ruta troncal, sin embargo, al ser una cantidad mayor y ante falta de presupuesto de las entidades públicas para invertir en este tipo de proyectos, se recomienda que como mínimo se tengan bien demarcadas las ubicaciones exactas de las paradas, así como que todas tengan una estructura sencilla para que las personas se puedan esperar el autobús de forma segura. Además de esto, se recomienda que todas tenga la pizarra informativa con los horarios de las diferentes rutas del sector.

#### *4.4.4 Accesibilidad*

Se debe de tomar en cuenta todas las disposiciones que estable la ley 7600 sobre personas con discapacidad para el diseño de todas las paradas de la ruta, tanto en la ruta troncal como en las secundarias, así como la escogencia del vehículo a utilizar.

Los autobuses deben de contar con la rampa de acceso para los usuarios en sillas de ruedas o con alguna otra dificultad de movilidad, para facilitar el ingreso de estas personas a los autobuses. Así mismo, las paradas deben de ser diseñadas para personas con estas limitaciones, aspectos como el espacio en el lugar de espera, las aceras aledañas, la forma de acceso a estas paradas, ya que en la ruta troncal se recomienda que sean de piso elevado para así facilitar la entrada a los autobuses y disminuir el tiempo de viaje. En la siguiente imagen se presenta una imagen de las rampas de acceso de los autobuses.



Figura 94. Rampa de acceso para autobús  
Fuente: TMB,2020

Así mismo se debe de pensar en la forma de transmitir la información relacionada al sistema BRT, ya que esta debe de ser accesible para toda clase de usuario, por lo que se recomienda utilizar diferentes mecanismos para transmitir dicha información. Como menciona el ingeniero Díaz “se recomienda acatar las normativas INTE W13:2003, INTE W14:2003 e INTE W15:2007, que detallan los requisitos técnicos para que los vehículos y las paradas del transporte colectivo sean consideradas accesibles”. El diseño de cada una de las paradas y la elección de las unidades quedan fuera de los objetivos del presente trabajo.

## 4.5. Tecnología

### 4.5.1 Vehículos

Los autobuses utilizados en cada tipo de ruta es un elemento esencial para el buen funcionamiento del sistema troncalizado, ya que se debe de implementar el tamaño de autobús correcto para que cada ruta troncal posea un buen nivel de servicio, debido a que se busca disminuir tanto el tiempo de viaje de cada autobús y el tiempo de espera que debe de permanecer el usuario en una parada antes de realizar el transbordo de ruta secundaria a ruta troncal.

Uno de los aspectos que se debe de tomar en cuenta a la hora de elegir el vehículo apropiado es el radio de giro del mismo, ya que existen tramos sobre las rutas troncales que no

permiten radios de giros muy grandes. Por otra parte, se debe de tomar en cuenta la cantidad de pasajeros que utiliza los distintos ramales, ya que, si se tiene una alta demanda de pasajeros, se puede pensar en la opción de incrementar el número de pasajeros por vehículo para así disminuir los tiempos de espera de los usuarios.

Para las rutas troncales se recomienda buses articulados de al menos 18 m de largo, esto según lo que recomienda Molinero & Sánchez (1997) y ITDP (2010), esto para que pueda cumplir con la demanda que tendría dicha ruta troncal. Se recomienda realizar un estudio de demanda específico para el sector para así poder determinar el tamaño preciso de los autobuses y la frecuencia que estos deben de tener. Como se mencionó, se debe también de tomar en cuenta el radio de giro de estos autobuses a la hora de implementarlos en la ruta. En la imagen 94 se presenta el autobús de articulado de 18 m, el cual es el utilizado en los sistemas BRT de la ciudad de Bogotá.

Para el caso de las rutas secundarias, se recomienda la utilización de los autobuses convencionales, por lo que se puede pensar en utilizar los vehículos que actualmente operan en la red, al igual que en la ruta troncal, se recomienda realizar un estudio de demanda para asegurarse que estos buses cumplirían con la demanda asociada.



Figura 95. Autobús articulado  
Fuente: Transmienio,2020

#### *4.5.2 Sistema de pago*

Según menciona el ingeniero Leonardo Castro en su informe final llamado "Reorganización del transporte público en el área metropolitana de San José" (Castro, 1999) la forma más efectiva de reducir el tiempo de abordaje y desabordaje del autobús es con la implementación del pago electrónico, un elemento que se considera esencial para el funcionamiento correcto de un sistema troncalizado. En la actualidad el país está trabajando en un proyecto para comenzar con la implementación del sistema del pago electrónico en autobuses y trenes, se espera que para el mes de febrero del año 2021 se inicie con los trenes, para ya en septiembre del mismo año comenzar con el pago electrónico en los autobuses.

Los beneficios de la implementación de este sistema en el transporte público no solo se limitan a los usuarios del servicio, sino que también trae grandes ventajas tanto para el ente regulador (ARESEP) como para los operadores de la ruta. En el caso de ARESEP, se le permite tener un mejor control de los datos generados por el sistema de transporte, como la demanda del servicio, así como tener un mejor conocimiento del origen y destino de los usuarios pudiendo observar en que paradas se realizan la mayor cantidad de abordajes y desabordajes. Para los operadores se le permite minimizar costos de operación al ya no tener que utilizar dinero en efectivo para el cobro del pasaje de los usuarios, así como el aumento del uso del servicio ya que se mejoraría la efectividad de este lo que lo volvería más atractivo para la población.

Para los usuarios se pondrán a disposición diferentes formas de pago, entre ellas: tarjetas de crédito o débito, tarjetas prepago, código QR. Este sistema también contribuye a la salubridad del país ya que se tiene menos contacto con dinero en efectivo. Al ser el pago electrónico, se puede dar la posibilidad de ofrecer incentivos al usuario para así aumentar la demanda. En las siguientes imágenes se muestran imágenes ilustrativas del funcionamiento del pago electrónico que se implementará en Costa Rica a partir del año 2021.



Figura 96. Funcionamiento del pago electrónico en Costa Rica  
Fuente: MOPT,2020

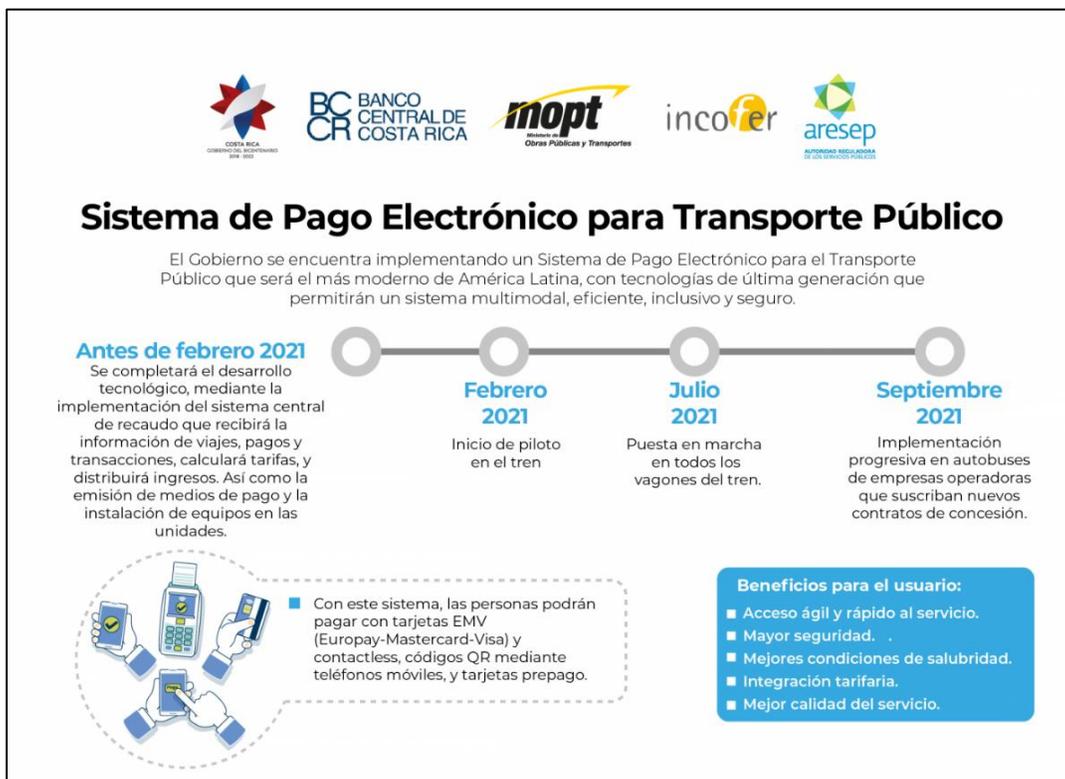


Figura 97. Plan para la implementación del pago electrónico en Costa Rica  
Fuente: MOPT,2020

#### *4.5.3 Información al usuario*

Se debe de dar información precisa y útil al usuario de cómo llegar a su destino, este elemento es algo de suma importancia para el buen funcionamiento de la una red troncalizada.

Se debe dar información de las frecuencias de los buses, estableciendo un rango de tiempo en el que el autobús pasa por la respectiva parada, esto tanto para las rutas troncales como las secundarias, por lo que se recomienda que esto sea uno de los estudios prioritarios en este tema. Esto para así poder crear un horario para cada parada de autobús e informar al usuario el rango de tiempo en que pasará el autobús, buscando cada vez más reducir este intervalo para así hacer más precisa la red. Teniendo este horario definido y una buena frecuencia en los ramales el sistema se comportaría de una manera muy eficiente, lo que sería un gran incentivo para los usuarios de utilizar el sistema de transporte público para sus viajes rutinarios.

Se recomienda la implementación de una aplicación para poder rastrear en tiempo real mediante una señal GPS la posición del autobús, ya que es una gran herramienta para mejorar la experiencia del usuario a la hora de utilizar el sistema. Una vez implementada esta aplicación y los datos obtenidos mediante el GPS es posible establecer información en tiempo real y actualizada para poder predecir el tiempo que falta para que el autobús pase por la parada.

Además de la aplicación con información oficial del sistema de transporte público se recomienda implementar el uso de pizarras informativas en cada parada del sistema y de pantallas que actualicen en tiempo real el tiempo que falta para la llegada del autobús.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

Con base en el estudio realizado se proponen las siguientes conclusiones y recomendaciones en base a los objetivos planteados en este trabajo.

1. El sistema de transporte público es una herramienta muy útil para mejorar el problema de congestión vehicular que se da en las carreteras, ya que si se incentiva su uso disminuye el uso de vehículos particulares.
2. La implementación de un sistema troncalizado es una opción viable para la mejora del sistema de transporte público en el sector de Santo Domingo – Tibás, ya que su comportamiento actual tiene características que favorecen al sistema troncalizado.
3. Se recomienda la inmediata implementación de medidas como señalización externa en los autobuses, sistemas de transporte inteligente, pago electrónico e integración tarifaria para que el servicio ofrecido sea óptimo.
4. Uno de los impactos más importantes que genera el sistema troncalizado es la disminución de la cantidad de autobuses que transitan por las rutas designadas como troncales, en el caso de esta investigación, la ruta 5 y la ruta 32, las cuales son unas de las principales carreteras nacionales.
5. Al mejorar las paradas en la ruta troncal se resuelve un problema importante que presenta esta ruta, ya que la mayoría de las paradas en la actualidad no presentan bahías para el abordaje y desabordaje de los autobuses, situación que provoca congestión en la ruta.
6. Actualmente el sector de estudio cuenta con una buena cobertura, ya que aquellos focos de concentración de habitantes se encuentran dentro del rango de máximo 525 m de caminata para los usuarios.
7. Se recomienda realizar las mejoras antes mencionadas a las paradas sobre la ruta troncal, esto para disminuir el tiempo de viaje de los usuarios y así dar un mejor servicio más eficiente.

8. Realizar estudios para actualizar la matriz de origen/destino de los sectores de estudio, esto para poder diseñar los sistemas de transporte público con el fin de mejorar los viajes intersectoriales.
9. Se recomienda realizar un estudio de Acenso y Descenso para obtener un perfil de carga y así poder determinar los lugares que son focos de atracción de viajes.
10. Se recomienda realizar un estudio del Sistema BRT que permita establecer las frecuencias y la cobertura horaria óptimas para cada ruta. Es recomendable, valorar los resultados obtenidos con el nivel de servicio percibido por los usuarios, esto para tomar en cuenta en los aspectos económicos.
11. La implementación del pago electrónico es algo básico para el funcionamiento correcto del sistema BRT, esto se debe a que facilita los transbordos entre rutas y permite la creación de promociones o incentivos para que el usuario se vea más atraído al uso del sistema.
12. Una característica deficiente del sistema actual de transporte público es la dificultad de los intercambios entre rutas y modos de transporte. Debido a esto, se debe de asegurar la facilidad de los transbordos entre las rutas alimentadoras y las rutas troncales, por lo que variables como la frecuencia y la forma de pago que se implemente en la ruta deben de considerar este factor.
13. Los intercambios principales de las rutas se deben de construir de manera integrada al espacio donde se ubicarán, de modo a que no sean demasiado invasivas.
14. Se recomienda examinar la interacción actual del tren con el sistema de transporte público, para poder determinar la forma en la que los usuarios actualmente ingresan a las paradas del tren, para si poder favorecer esta interacción intermodal.
15. Algunas características socioeconómicas como la densidad poblacional, la cantidad de personas en edad laboral y la cantidad de personas económicamente activas son variables que se podrían relacionar positivamente con la demanda de viajes. Por lo que se recomienda realizar una investigación de estos factores con el censo que saldrá en el año 2021, para así tener estos datos lo más actualizados posibles.

## 6. Bibliografía

- Aguero, J., Pujol, R., & Pérez, E. (2012). *Actividad económica, características sociales y demanda de transporte. Una exploración a los patrones de viaje residencia - trabajo en el censo del 2011*. San Jose.
- Aguero Valverde, J., & Rodriguez Gonzales, M. (2017). *Walking distances from home to bus stops in San José, Costa Rica: real, perceived, and stated-preference distances*. San Jose.
- Allen Monge, J. (2011). *TransMilenio Bogotá - Colombia (BRT)*. San Jose.
- Álvarez, S. (2018). *Análisis de la implementación de un sistema de buses de tránsito rápido para el corredor Moravia-Guadalupe-Coronado*. San Jose.
- Castillo Flores, K., & Quiros Solano, F. (2018). *Propuesta sistema de transporte público del área Metropolitana de Cartago, Costa Rica*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Castro, L. (1999). *Reorganización del transporte Público en el área metropolitana de San Jose*. San Jose.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). (2011). *Análisis de prefactibilidad del transporte masivo en San Jose*. San Jose.
- Díaz, J. M. (2019). *Análisis de implementación de un sistema de Buses de Tránsito*.
- GP, Consorcio EPYPSA - SIGMA. (2015). *Apoyo al modelo general de sectorización de transporte público de San José, Costa Rica*. San José.
- Hernández, H., & Chaves, G. (2015). Desempeño y calidad de servicio de autobuses externos de la Universidad de Costa Rica. *Revista Infraestructura Vial*, 13-22.
- ITDP. (2010). *Guía de Planificación de sistema BRT*. New York.
- Leal, S. Á. (2018). *Análisis de la implementación de un sistema de buses de tránsito rápido para el*. San Jose.
- Ministerio de Obras Publicas y Transporte (MOPT). (2017). *Inicia el reordenamiento vial en Tibas con carriles exclusivos para transporte público*. San Jose.

- Ministerio de Obras Públicas y Transporte. (2011). *El sistema de autobuses y el uso del espacio público urbano*. San Jose.
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte. (2011). *El transporte público de pasajeros y el proyecto de sectorización*. San Jose.
- Ministerios de Obras Públicas y Transporte. (2011). *Plan Nacional de Transportes*. San Jose.
- Molinero, A., & Sánchez, L. (1997). *Transporte público: Planeación, diseño y administración*. Toluca, México.
- Quiros, C. (2014). *Diseño de un Sistema de Bus de Tránsito Rápido para el corredor San José -Curridabat (Trabajo Final de Graduación)*. San Jose.
- Rodriguez, D. A. (2013). *Sistemas de transporte público masivo BRT y desarrollo urbano en América Latina*.
- Rodriguez, M. (2015). *Análisis del Nivel de Servicio del transporte público en buses de acuerdo a su accesibilidad en el Área Metropolitana de San José (Trabajo final de graduación)*. San Jose.
- TCRP. (2003). *Report 90 Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit*. Washington.
- TCRP. (2013). *Report 165: Transit Capacity and Quality of Service Manual*. Washington, Estados Unidos.
- Vuchic, V. R. (2007). *Urban Transit Systems and Technology*. New Jersey.
- Zimmerman, S., & Levinson, H. (2004). *Vehicle selection for BRT: Issues and options*.