

**ANÁLISIS TERRITORIAL DE LA ACCESIBILIDAD COMO INDICADOR DE LA
CALIDAD DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO-SITM EN
SANTIAGO DE CALI**

**HÉCTOR ALEJANDRO HUERTAS RODRÍGUEZ
CARLOS ALFONSO SERRANO FLÓREZ**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
INGENIERÍA CIVIL
SANTIAGO DE CALI
2017**

**ANÁLISIS TERRITORIAL DE LA ACCESIBILIDAD COMO INDICADOR DE LA
CALIDAD DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO-SITM EN
SANTIAGO DE CALI**

**HÉCTOR ALEJANDRO HUERTAS RODRÍGUEZ
CARLOS ALFONSO SERRANO FLÓREZ**

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

**Director:
Ciro Jaramillo Molina, Ph.D
Ingeniero Civil**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
INGENIERÍA CIVIL
SANTIAGO DE CALI
2017**

**ANÁLISIS TERRITORIAL DE LA ACCESIBILIDAD COMO INDICADOR DE LA
CALIDAD DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO-SITM EN
SANTIAGO DE CALI**

Nota de aceptación:

Firma del Director de la Escuela

Firma del Director del Proyecto

Santiago de Cali, agosto de 2017.

El paso por esta universidad ha estado lleno de enriquecedoras experiencias y nuevos conocimientos que me han formado como persona y como profesional, la culminación de esta etapa representa una meta cumplida, un gran peldaño conquistado que abre espacio a nuevos proyectos en mi vida. Dedico este triunfo a las personas que han apoyado, seguido y aconsejado en este proceso de formación.

A mi madre Liliana Rodríguez Ruales y a mi padre Héctor Huertas Coral por ser las personas por las cuales he podido forjar mi camino, con su cariño, confianza, apoyo y comprensión me dieron el aliento para seguir siempre adelante.

A mi compañero de trabajo de grado, por su comprensión, compromiso y dedicación entregada a este proyecto.

A la Universidad del Valle, por la cual siempre tendré aprecio por su formación en esta etapa que termina.

Alejandro Huertas Rodríguez

Quiero dedicar este trabajo a todas esas personas que han sido importantes para mí en cada etapa de mi carrera y de mi vida, brindándome su apoyo a lo largo de este camino. Cada voz de aliento, cada consejo recibido ha sido un granito de arena determinante en la obtención de este logro.

A mis padres, por ser ese pilar fundamental que con su amor, esfuerzo y apoyo incondicional me impulsa a luchar por mis metas y aspiraciones, a mis tías por estar siempre pendientes de mi proceso de formación y por el cariño y comprensión que me brindaron siempre.

A mi compañero Alejandro, por su disciplina, compromiso y esfuerzo entregados en pro de sacar adelante este proyecto.

A mis compañeros y amigos, por las experiencias vividas en todo este tiempo, y a la Universidad del Valle por la formación recibida para cumplir esta meta.

Carlos Alfonso Serrano Flórez

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar un sincero agradecimiento a nuestro director de tesis y profesor **Ciro Jaramillo Molina, Ph.D** por el acompañamiento, guía y apoyo que nos brindó en este proyecto. Sus conocimientos en las áreas de movilidad y transporte fueron el pilar para el inicio, desarrollo y culminación de los objetivos planteados.

A los ingenieros **Juan Ricardo Segura** y **María Claudia Jiménez**, de la Dirección de Operaciones de **Metro Cali S.A.** por su atenta disposición y colaboración en la gestión de la información base para la ejecución de las actividades del proyecto.

A los encargados del proyecto de investigación “Movilidad en transporte y segregación socio-espacial: un estudio de equidad para Cali”, adscrito a la Facultad de Socioeconomía de la Universidad del Valle, por su colaboración al acceder a facilitar la información socioeconómica de los barrios de la ciudad requerida para el desarrollo del proyecto.

Al Grupo de Investigación de Tránsito, Transporte y Vías de la Universidad del Valle (GITTIV), por el acompañamiento de sus integrantes y por poner a disposición sus conocimientos, experiencia, espacio y herramientas para facilitar el desarrollo de este proyecto.

RESUMEN

Con el continuo crecimiento poblacional y comercial de la ciudad de Santiago de Cali, la demanda de movilidad y transporte de sus habitantes se ha transformado en un tema primordial a tratar y a resolver por parte de la Alcaldía de la ciudad. La implementación de buses de tránsito rápido (BRT) ha sido el método propuesto para la satisfacción de dicha demanda, aunque la cobertura de infraestructura vial del sistema BRT cubre el 92,56%, según cifras expuestas por el ente gestor de este sistema, Metro Cali S.A, en la actualidad se reflejan problemas e inconformismo por el servicio en algunos sectores de la ciudad. En este estudio se evalúa la accesibilidad del sistema BRT en el territorio de Santiago de Cali como parámetro e indicador de calidad del mismo, utilizando indicadores de accesibilidad universales como el indicador de densidad absoluta, indicador de densidad ponderado e indicador de tiempo global, los cuales trabajan directamente con la malla vial del sistema y su red de rutas. Para análisis más enfocados en la población se implementa el indicador de Hansen que relaciona también los estratos socioeconómicos de los habitantes.

Los resultados globales de estos indicadores arrojan que los barrios de estrato social 2, 3 y 4 son los más beneficiados por el SITM-MIO, con las condiciones de accesibilidad más favorables, menores tiempos de viaje y mayores posibilidades a oportunidades de empleo, siendo el 70,3% de la población que se atribuye esta buena calidad del sistema. Por otro lado, los barrios de estrato 1, que alcanzan a ser el 13% aproximadamente de la población, además de los barrios de estratos altos (5 y 6) son los que tienen la condición más desfavorable según los resultados de los indicadores, siendo esta una falla a resolver.

Palabras clave: *accesibilidad, buses de tránsito rápido - BRT, territorio, población, calidad.*

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. EL PROBLEMA	2
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2. OBJETIVOS.....	4
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	5
2. MARCO DE REFERENCIA.....	6
2.1. ANTECEDENTES.....	6
2.2. ESTADO DEL ARTE	11
2.2.1. MARCO CONCEPTUAL.....	11
2.2.2. MARCO TEÓRICO	12
3. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO DE SANTIAGO DE CALI – MIO	18
3.1. CORREDORES TRONCALES	19
3.2. CORREDORES PRETRONCALES Y COMPLEMENTARIOS.....	19
3.3. TERMINALES DE CABECERA E INTERMEDIAS	20
3.4. ESTACIONES DE PARADA	21
3.5. PUNTOS DE PARADA.....	25
3.6. PATIOS Y TALLERES	26
3.6.1. INSTALACIONES EN OPERACIÓN	26
3.6.2. INSTALACIONES QUE AÚN NO ENTRAN EN OPERACIÓN	27
3.7. TIPOLOGÍAS DE VEHÍCULOS	27
3.8. MIO CABLE	30
4. METODOLOGÍA	31
4.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	31
4.2. DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO..	32
4.2.1. DETERMINACIÓN DE ZONAS Y CENTROIDES	37
4.3. CARACTERIZACIÓN DE RUTAS DEL SITM MIO	39
4.4. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE INDICADORES.....	46
4.4.1. INDICADOR DE DENSIDAD	46
4.4.2. INDICADOR ABSOLUTO DE TIEMPO GLOBAL.....	47
4.4.3. INDICADOR DE HANSEN	48
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	49

5.1. INDICADOR DE DENSIDAD.....	49
5.2. INDICADOR DE TIEMPO GLOBAL	53
5.3. INDICADOR DE HANSEN	56
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	64

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CORREDOR TRONCAL.....	19
FIGURA 2. TERMINAL DE CABECERA ANDRÉS SANÍN	20
FIGURA 3. TERMINAL INTERMEDIA CALIPSO.....	21
FIGURA 4. ESTACIÓN UNIVERSIDADES.....	25
FIGURA 5. PUNTO DE PARADA MIO	26
FIGURA 6. PATIO TALLER CALIMA SAMECO..	27
FIGURA 7. BUS ARTICULADO.....	28
FIGURA 8. BUS PADRÓN	28
FIGURA 9. BUS COMPLEMENTARIO.....	29
FIGURA 10. CABINA SUSPENDIDA DEL MIO CABLE.....	30
FIGURA 11. DISTRIBUCIÓN SOCIOECONÓMICA DE BARRIOS DE LA CIUDAD DE CALI.....	33
FIGURA 12. DISTRIBUCIÓN SOCIOECONÓMICA DE LA POBLACIÓN URBANA DE LA CIUDAD DE CALI	33
FIGURA 13. ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA DE LOS BARRIOS DE CALI	35
FIGURA 14. DENSIDAD POBLACIONAL DE LOS BARRIOS DE CALI EN HAB/KM ²	37
FIGURA 15. MAPA DE BARRIOS DE CALI CON SUS RESPECTIVOS CENTROIDES.....	39
FIGURA 16. RUTAS TRONCALES DEL SISTEMA MIO	42
FIGURA 17. RUTAS PRETRONCALES DEL SISTEMA MIO	43
FIGURA 18. RUTAS ALIMENTADORAS DEL SISTEMA MIO Y LÍNEA DEL SISTEMA MIO CABLE.....	44
FIGURA 19. PUNTOS DE PARADA DEL SISTEMA MIO Y MIO CABLE.....	45
FIGURA 20. NIVELES DE ACCESIBILIDAD PARA LA ZONA URBANA DE CALI POR INDICADOR DE DENSIDAD ABSOLUTA (CASO A)	50
FIGURA 21. NIVELES DE ACCESIBILIDAD PARA LA ZONA URBANA DE CALI POR INDICADOR DE DENSIDAD PONDERADA (CASO B).....	51
FIGURA 22. NIVELES DE ACCESIBILIDAD PARA LA ZONA URBANA DE CALI POR INDICADOR DE TIEMPO GLOBAL	53
FIGURA 23. CURVAS ISÓCRONAS PARA LA ZONA URBANA DE CALI	54
FIGURA 24. NIVELES DE ACCESIBILIDAD PARA LA ZONA URBANA DE CALI POR INDICADOR DE HANSEN (POLÍGONOS).....	56
FIGURA 25. NIVELES DE ACCESIBILIDAD PARA LA ZONA URBANA DE CALI POR INDICADOR DE HANSEN (SUPERFICIE).....	57

FIGURA 26. HISTOGRAMAS DE DENSIDAD (ABSOLUTA Y PONDERADA),
TIEMPO DE VIAJE Y ACCESIBILIDAD POR HANSEN PROMEDIO POR
ESTRATO SOCIOECONÓMICO.....59

FIGURA 27. DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN DE DENSIDAD (ABSOLUTA Y
PONDERADA), TIEMPO DE VIAJE Y ACCESIBILIDAD POR HANSEN
PROMEDIO POR ESTRATO SOCIOECONÓMICO60

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. MEDIDAS DE ACCESIBILIDAD.....	14
TABLA 2. ESTACIONES DE PARADA DEL CORREDOR TRONCAL CARRERA 1	22
TABLA 3. ESTACIONES DE PARADA DEL CORREDOR TRONCAL CARRERA 15	22
TABLA 4. ESTACIONES DE PARADA DEL CORREDOR TRONCAL CALLE 5.....	23
TABLA 5. ESTACIONES DE PARADA DEL CORREDOR TRONCAL CENTRO: CALLES 13 Y 15.....	23
TABLA 6. ESTACIONES DE PARADA DEL CORREDOR TRONCAL AVENIDA 3N	24
TABLA 7. ESTACIONES DE PARADA DEL CORREDOR TRONCAL AGUABLANCA.....	24
TABLA 8. TIPOLOGÍAS Y CARACTERÍSTICAS DE VEHÍCULOS DEL SITM-MIO.	29
TABLA 9. RUTAS EXPRESAS, TRONCALES Y PRETRONCALES OPERATIVAS DEL SITM-MIO A SEPTIEMBRE DE 2016.....	40
TABLA 10. RUTAS ALIMENTADORAS OPERATIVAS DEL SITM-MIO A SEPTIEMBRE DE 2016.....	41
TABLA 11. DATOS DE LAS RUTAS DEL SITM-MIO EN HORA PICO-DÍA HÁBIL POR SERVICIO.....	41
TABLA 12. DATOS DE LAS RUTAS DEL SITM-MIO EN HORA PICO-DÍA HÁBIL POR TIPOLOGÍA	42
TABLA 13. VALORES DE C SEGÚN TIPOLOGÍA DE VEHÍCULO.....	48

INTRODUCCIÓN

Santiago de Cali, como la tercera ciudad más importante del territorio colombiano refleja crecimiento y oportunidades para la población la cual acoge, población que para su desarrollo y sano esparcimiento necesita movilizarse. Por esta razón la ciudad implementó desde el año 2009 un ambicioso proyecto que consiste en un sistema de buses de tránsito rápido (BRT) para satisfacer las demandas de movilidad que tienen sus habitantes.

Sin embargo, con el transcurso de los años este sistema de transporte masivo, ha encontrado dificultades para reemplazar el transporte público colectivo tradicional (TPC) y en articularse de forma esperada a los otros modos de transporte, además de generar señales de inconformismo de los usuarios y quejas por la poca frecuencia de rutas que generan largos tiempos de espera y aglomeraciones en algunas estaciones y paradas. Esto refleja una inadecuada distribución del sistema y una falla en la operación que, para el ente gestor del sistema, Metro Cali S.A., es de gran importancia resolver.

El objetivo de este estudio es generar insumos que reflejen el estado actual de la distribución del sistema BRT implementado en el territorio de Cali teniendo como indicador de calidad y parámetro a evaluar su accesibilidad, para así poder plantear futuras soluciones que ayuden a la mejora del mismo.

Entendiendo la accesibilidad como la facilidad que tiene una persona en movilizarse de un punto arbitrario de inicio a otro final, se hizo una revisión de la literatura universal con el fin de implementar indicadores de accesibilidad, que por medios de modelación matemática y datos específicos determinen el nivel de accesibilidad que tienen cada uno de los barrios en el territorio de estudio para de esta forma generar el insumo esperado.

1. EL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El Sistema Integrado de Transporte Masivo MIO surgió con el propósito de reemplazar el Transporte Público Colectivo tradicional (TPC), articularse a otros modos de transporte, reducir emisiones contaminantes y desestimular el uso del transporte particular, buscando con esto facilitar las condiciones de accesibilidad y movilidad de las personas en la ciudad de Cali y en ese orden de ideas, mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad. Este sistema se basó en experiencias exitosas de sistemas BRT en Curitiba, Porto Alegre (Brasil) y Bogotá (DNP, 2002) e inició su planeación desde el año 2002 con una estimación de 960 mil viajes/día para día hábil, siendo estructurado en 3 fases de las cuales la primera se proyectaba tener lista para el año 2007 y la tercera para el año 2009 (GGT, 2006), sin embargo, retrasos en la ejecución de las obras de infraestructura y en la adjudicación de los contratos de concesión para la operación de los vehículos y el sistema de recaudo postergaron su inicio de operación para el año 2009. Se destaca que el MIO es el único sistema BRT de las ciudades colombianas diseñado para reemplazar en su totalidad al transporte público colectivo, buscando abarcar la totalidad de la demanda de transporte público de Cali.

Se ha identificado que, en la actualidad, los niveles de prestación del servicio y los tiempos y velocidades de desplazamiento que el sistema de transporte masivo ofrece no cumplen con las expectativas de sus usuarios y repercuten negativamente en las oportunidades que estos tienen para realizar sus desplazamientos (Diario Occidente, 2016). Teniendo en cuenta las proyecciones iniciales fijadas durante el proceso de planeación del sistema, se estableció como meta para el final del año 2015 el movilizar un promedio de 960.000 pasajeros por día hábil (Alcaldía de Santiago de Cali, 2012), sin embargo, a la fecha mencionada se presentó que el sistema movilizaba un promedio de 482.344 pasajeros por día hábil, lo que supone un cumplimiento del 70% de la meta trazada, la cual se redujo para ese año a 683.396 pasajeros (Programa Cali Como Vamos, 2016). Para el primer trimestre del año 2016, el MIO transportó un total de 34,9 millones de pasajeros, lo que comparado con el primer trimestre del año anterior se traduce en una disminución de 0,4% en el número de pasajeros transportados (DANE, 2016). Esto, para el ente gestor, se ha debido a los incumplimientos de los operadores por cuanto ellos aducen problemas económicos que les impiden poner a operar la totalidad de su flota operativa (Aguirre, L.J., 2015), lo cual a su vez se traduce en menores frecuencias, mayores intervalos de paso de los vehículos y, por consiguiente, mayores tiempos de desplazamiento.

Adicionalmente, para el año 2014, las velocidades de desplazamiento promedio del sistema aún no alcanzaron la meta fijada de 20 kilómetros por hora, y en comparación con datos del año 2013, la velocidad promedio se redujo de 18,3 a 17,8 kilómetros por hora (Programa Cali Como Vamos, 2015). Esto como consecuencia impacta negativamente en los tiempos de desplazamiento y en los niveles de satisfacción de los usuarios respecto al servicio prestado.

Es por estas y otras razones como por ejemplo el incumplimiento en los cronogramas de salida de circulación de los buses del TPC y los pocos avances en la construcción de las obras de infraestructura pendientes (terminales), que la demanda del sistema no ha crecido de la forma esperada, situándose lejos de la meta planteada y muchos usuarios han migrado a otros medios de transporte como por ejemplo transporte público colectivo, las motocicletas, el transporte informal o, si sus posibilidades económicas lo permiten, automóviles, incrementando entonces el uso del transporte privado lo cual va en contra del objetivo inicial del MIO (Diario Occidente, 2014).

Entonces, se pretende analizar las condiciones actuales de accesibilidad que ofrece el sistema MIO para la totalidad de la ciudad de Cali y sus impactos en la población considerando su red de rutas, tiempos y velocidades de desplazamiento con el fin de ofrecer un insumo para que los entes interesados propongan y lleven a cabo soluciones en un futuro.

Todo esto lleva a realizar la siguiente pregunta: ¿desde la perspectiva de la accesibilidad territorial, cómo es la calidad del servicio prestado por el SITM-MIO para los sectores de la ciudad de Cali?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del servicio prestado por el SITM-MIO para los sectores de la ciudad de Cali mediante parámetros de accesibilidad.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la red de rutas actual del sistema MIO
- Definir parámetros para medir la accesibilidad del sistema MIO
- Identificar sectores de la ciudad con ventajas y desventajas en el servicio prestado por el sistema MIO

1.3. JUSTIFICACIÓN

Una de las necesidades más apremiantes de un municipio es la buena movilidad. En la ciudad de Santiago de Cali es común encontrarse con una percepción ciudadana mayormente negativa acerca de su movilidad, y más si se habla del servicio prestado por la entidad encargada del transporte masivo y más importante de la ciudad, el MIO.

Teniendo en cuenta que el tema de movilidad es crucial para el cumplimiento de los estándares de calidad de vida de una comunidad y que la movilidad de las personas es dinámica y está en continuo cambio, se requiere realizar un monitoreo y evaluación constantes de sus parámetros para así tener herramientas que permitan formular acciones de mejoramiento continuo. Considerando los inconvenientes actuales del servicio del MIO tales como: la disminución de oferta, el incremento de tiempos de desplazamiento y la migración de usuarios a otros modos de transporte, que repercuten negativamente en la accesibilidad de los usuarios dentro del sistema, es importante y pertinente realizar estudios que permitan analizar la situación actual del mismo, las fortalezas y falencias del servicio y proporcionar recursos para proponer y seleccionar alternativas de mejora, que a su vez podrán contribuir a mitigar el problema de movilidad de la ciudad. Por lo cual este proyecto va encaminado a estructurar información científica y tecnológicamente adecuada basada en literatura internacional, identificar y establecer indicadores y herramientas aceptadas a nivel mundial con lo cual se hará un aporte al contexto particular en que se encuentra la ciudad de Cali.

Los interesados en la mitigación del problema de la movilidad en la ciudad y entes pertinentes para abordar una solución son las entidades del orden municipal, iniciando por la Alcaldía de Santiago de Cali y sus dependencias: Metro Cali S.A. como ente gestor del MIO, la Secretaría de Movilidad y el Departamento Administrativo de Planeación Municipal – DAPM. Por lo que les compete el mejoramiento de la calidad del servicio de transporte prestado a la ciudadanía y así proyectar a Cali como una ciudad moderna más competitiva.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. ANTECEDENTES

Los antecedentes son trabajos previos realizados dentro del marco de la investigación de la accesibilidad:

- “Evaluación de la accesibilidad a los usos del suelo y estrategias de transporte: revisión y direcciones de investigación” (Geurs, K. y van Wee, B., 2004)

En su artículo, y partiendo del hecho de que el concepto de accesibilidad en sí es frecuentemente malinterpretado y poco definido, Geurs y van Wee identificaron cuatro componentes de la accesibilidad: componente de transporte, componente de uso del suelo, componente temporal y componente individual, y a su vez, determinaron cuatro tipos de medición de accesibilidad: mediciones basadas en la infraestructura, las cuales analizan los niveles de servicio de la infraestructura de transporte tales como niveles de congestión o tiempos y velocidades de desplazamiento promedios en la red; mediciones basadas en la ubicación, que analizan la accesibilidad por lugares a actividades distribuidas en el espacio; mediciones basadas en la persona, que hacen referencia a la accesibilidad en un nivel individual o las actividades en las que una persona puede participar en determinado momento; y mediciones basadas en la utilidad, analizando principalmente beneficios económicos de las actividades. Los autores evaluaron estas medidas de acuerdo a criterios como su base teórica, operacionalización o facilidad de aplicación, facilidad de interpretación y comunicación, encontrando que, si bien las mediciones basadas en la infraestructura permiten describir el funcionamiento del sistema de transporte y son fáciles de aplicar e interpretar y comunicar, tienen la desventaja de que no satisfacen los criterios teóricos completamente, al no considerar el componente de uso del suelo ni tampoco elementos de los componentes temporal e individual, y por tanto puede llevar a resultados erróneos para evaluar accesibilidad por usos del suelo.

- “Análisis de Accesibilidad Vial para el Departamento del Valle del Cauca” (Murillo Hoyos, J., 2007)

En este trabajo, la autora llevó a cabo un análisis de las condiciones de accesibilidad vial para la red vial del departamento del Valle del Cauca y varios de los municipios conectados por esta desde el punto de vista operacional, haciendo uso principalmente de medidas topológicas tales como el indicador de densidad de Kansky y el factor de ruta con la finalidad de evaluar la facilidad de acceso y desplazamiento entre municipios ofrecida por la infraestructura vial del departamento. Evaluando los indicadores de accesibilidad, se encontró que las zonas urbanas con las mejores condiciones de accesibilidad eran aquellas con la mayor cantidad de accesos y vías de comunicación con otros municipios, destacándose el caso de la ciudad de Cali, mientras que para Buenaventura se presentaron los resultados menos favorables, dada su poca cantidad de infraestructura de acceso y su distancia con respecto al resto de municipios comunicados por la malla vial estudiada.

- “Disparidad espacial en necesidades sociales de transporte y provisión de transporte público en Santiago de Cali (Colombia)” (Jaramillo, C., Lizárraga, C. y Grindlay, A., 2012)

En este artículo, los autores estudiaron la relación entre la exclusión social y la accesibilidad al transporte público de los habitantes de la ciudad de Cali. Se identificó tanto la necesidad de transporte como la provisión de transporte, para realizar una comparación entre ambas, teniendo que la necesidad de transporte se obtuvo de la ponderación de variables sociales y factores relacionados al transporte, como edad, nivel de ingresos, situación de empleo, formación académica, posesión de vehículos y grado de accesibilidad a las distintas actividades, según su importancia. De otra parte, para el cálculo de la provisión de transporte se usó un indicador topológico que consideró el número de paradas del sistema por comuna, la tipología y capacidad de los vehículos y la frecuencia de paso de los mismos. Como resultados se encontró que la mayor brecha entre provisión y necesidad (indicando deficiencia) se presentó en las comunas del oriente y la ladera, mientras que hacia la zona centro se presentó la mayor concentración de corredores de transporte, y por tanto una alta provisión, en línea con la estructura de corredores del sistema.

- “Evaluando la equidad espacial de patrones de accesibilidad basados en autobuses de tránsito rápido en países en desarrollo: el caso de Cali, Colombia” (Casas, I. y Cahill Delmelle, E., 2012)

En este estudio, las autoras llevan a cabo una evaluación de la accesibilidad proporcionada por el sistema MÍO para los diferentes estratos socioeconómicos de la ciudad en relación a dos características: una de ellas es la facilidad del acceder al sistema como tal, es decir, la cercanía de la población a los puntos de parada de los buses del sistema, mientras que la otra es la accesibilidad a tres tipos de equipamientos urbanos (hospitales, sitios recreativos y bibliotecas). Para la medición del nivel de acceso de la población al sistema, se hizo uso de la función de área de servicio contenida en el software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ArcGis, aplicada a las estaciones de parada del sistema, mientras que para medir la accesibilidad a las distintas actividades se trabajó con el indicador de gravedad desarrollado por Hansen en 1959. Los resultados de este estudio mostraron que las mejores condiciones de acceso a pie al sistema se dan en los estratos bajos y altos, con los usuarios de los estratos medios caminando distancias mayores, mientras que se encontró que la accesibilidad a las actividades dependía de su distribución territorial, siendo más equitativa para la recreación y menos en el caso de la salud.

- “Impacto regional: caso de aplicación de análisis de accesibilidad territorial” (Escobar García, D. y García Orozco, F., 2012)

En este estudio, los autores tuvieron como objetivo analizar la accesibilidad media global ofrecida por una red de carreteras, la cual fue calculada en un radio de 30 kilómetros alrededor del casco urbano del municipio de Palestina, en el departamento de Caldas, teniendo en cuenta que en este se construirá el nuevo Aeropuerto del Café. Para el desarrollo de esta investigación se contó con datos tomados en campo e información secundaria suministrada por fuentes oficiales como la Gobernación de Caldas (red vial). Esta información, junto con las posibles intervenciones futuras a la infraestructura, fue georreferenciada y digitalizada para permitir su modelación con atributos como el tiempo de viaje y velocidad media de operación entre arcos, con lo cual se calculó la matriz de tiempos medios de viaje entre todos los nodos de la red, con lo cual se obtuvo el vector de tiempos medios de recorrido por el camino mínimo para todos los nodos y se representaron estos resultados cartográficamente por curvas isócronas. Los resultados obtenidos indicaron que hacia la zona centro-sur del departamento de Caldas se tienen los mayores valores de accesibilidad, mientras que hacia los municipios del norte

existe la necesidad de establecer mejor conectividad. En cuanto a las intervenciones viales futuras, se concluye que se cumple el objetivo de reducir los tiempos de viaje, sin embargo, estas mejoras no son realmente significativas.

- “Modelamiento de accesibilidad: prediciendo el impacto de infraestructura de transporte planificada en los patrones de accesibilidad en Edimburgo, Reino Unido” (Karou, S. y Hull, A., 2014)

En este estudio se tuvo como objetivo evaluar los impactos en la accesibilidad de los habitantes de la ciudad de Edimburgo debidos a la construcción de nuevas líneas de tranvía en la ciudad. Para este objetivo, los autores se sirvieron de una herramienta de modelación basada en sistemas de información geográfica (SIG) llamada SNAPTA, la cual fue desarrollada teniendo en cuenta tres medidas de accesibilidad: tiempo o costo de viaje entre diferentes zonas de la ciudad y el centro, número de destinos a los que se puede acceder por transporte público usando el mismo tiempo de viaje, y un indicador de gravedad derivado de la ecuación de Hansen que incluye un elemento de transporte (tiempo de viaje entre zonas) y un elemento de usos del suelo. A continuación, se consideraron cuatro escenarios para la red de transporte de la ciudad: un escenario base reflejando la situación actual y otros tres escenarios de expansión futura, los cuales fueron modelados mediante SNAPTA, junto con seis diferentes tipos de actividades incluyendo centros de negocios, educativos y de salud, parques y sitios recreativos, entre otros, para verificar la accesibilidad a los distintos servicios. Como resultados se encontró que la accesibilidad a los sitios de trabajo fue positivamente impactada en toda la ciudad luego de la implementación de los cuatro escenarios de análisis, siendo el último escenario el que presentaba la red de transporte al final del proceso de expansión.

- “Problemas de accesibilidad con sistemas BRT para una universidad en la periferia. El caso de la Universidad del Valle (Campus Meléndez)” (Parra Reyes, J., 2014)

En este estudio el autor tuvo como objetivo medir la accesibilidad hacia el campus de Meléndez de la Universidad del Valle, desde cada uno de los barrios de la ciudad de Cali a través del sistema BRT de la ciudad. Para lograr esto, el autor realizó una caracterización de la población de Cali y de la población estudiantil de la universidad, a partir de las cuales se estimó la posible población potencial que se dirigiría al campus por barrio. Igualmente, con base en la información de rutas del sistema MIO, se obtuvieron datos de

cantidad de rutas por barrio y tiempos de desplazamiento. La accesibilidad hacia la Universidad del Valle desde los barrios se midió mediante dos indicadores: el indicador de Hansen y el índice de provisión de transporte público IPTP (Jaramillo et al, 2012). Los resultados indicaron que las zonas con las mejores condiciones de accesibilidad son aquellas cercanas al campus universitario, mientras que los barrios del distrito de Aguablanca y periféricos, donde se encontraría la mayor parte de la población estudiantil de la universidad, cuentan con los índices de accesibilidad más bajos y la menor oferta de transporte. Se evalúan entonces dos escenarios futuros, donde se introducen un nuevo corredor troncal y una ruta expresa, mejorando sustancialmente los índices de accesibilidad, pero presentando todavía bajos niveles de oferta de transporte puesto que las mejoras no logran captar completamente la demanda de la zona oriental.

- “Accesibilidad a la oferta turística urbana con un sistema BRT. El caso de Santiago de Cali (Colombia)” (Zabala, A. y Martínez, C., 2015)

En este estudio, los autores buscaron evaluar los niveles de accesibilidad a los principales sitios turísticos de la ciudad de Cali, mediante el uso del SITM-MIO. Para lograr este objetivo, los autores realizaron una caracterización técnica y operativa de la infraestructura del sistema e identificaron y caracterizaron la distribución de la oferta turística urbana de la ciudad, compilando esta información en una base de datos para su tratamiento en un software de información geográfica. A continuación, los autores realizaron una revisión bibliográfica para seleccionar los indicadores más apropiados para su uso en este estudio, los cuales fueron el indicador de Hansen y el IPTP, y se calcularon los índices de accesibilidad actual a través del análisis de la red del sistema MIO y se hizo la evaluación de un escenario futuro. Los resultados obtenidos indicaron que, para el indicador de Hansen, el potencial de oportunidades de actividad tiene una influencia importante sobre los valores de accesibilidad, mientras que por IPTP son las características del sistema que permiten medir su calidad (conectividad e infraestructura) las que tienen una mayor influencia en los resultados.

2.2. ESTADO DEL ARTE

2.2.1. MARCO CONCEPTUAL

Con el fin de adentrar la propuesta en un marco de referencia se quiere contextualizar la misma para su mejor entendimiento, a través de los siguientes conceptos con mayor relevancia para el proyecto extraídos de los artículos antes mencionados en los antecedentes:

- **Accesibilidad:** La accesibilidad se define como la facilidad para que cualquier persona pueda llegar a un lugar, objeto o servicio en condiciones de seguridad, comodidad e igualdad. Esta es, por tanto, una variable fundamental para garantizar el cumplimiento del principio de igualdad de oportunidades y permitiendo una mejora de la calidad de vida de todos los ciudadanos. Geurs y van Wee (2004) identificaron cuatro componentes de accesibilidad, los cuales se definen a continuación:
- **Componente de transporte:** Describe el sistema de transporte y principalmente, los inconvenientes que ofrece el sistema a una persona para poderse movilizar de un lugar a otro mediante un modo de transporte específico, incluyendo variables como tiempos, costos, esfuerzos y riesgos, y oferta y demanda.
- **Componente de usos del suelo:** Refleja los usos del suelo, las oportunidades de distribución de cantidad, calidad y espacio de las diferentes actividades (comerciales, de servicios, educativas, etc.) de cada destino, así como su demanda en los lugares de origen de los habitantes.
- **Componente temporal:** Se refiere a la disponibilidad de oportunidades de transporte en distintos momentos del día y disponibilidad temporal de las personas para realizar ciertas actividades.
- **Componente individual:** Refleja las necesidades, habilidades y oportunidades de la persona como tal y que influyen en el nivel de acceso de una persona a los modos de transporte.
- **Movilidad urbana:** Desplazamiento entre un punto y otro de la ciudad con el fin de satisfacer una necesidad, definiendo políticas con aspectos asociados a infraestructura, gestión de tránsito, seguridad vial e inversiones.

- **Redes de transporte:** Es el conjunto de medios que permiten el desplazamiento de personas y mercancías entre lugares geográficos, desempeñando un papel importante en la economía y la organización espacial.

2.2.2. MARCO TEÓRICO

- **Niveles de Accesibilidad** (Izquierdo, R. (1994)):

Antes de analizar los indicadores de accesibilidad más utilizados interesa realizar algunas consideraciones cerca de la escala y ámbito de estudio, ya que solo es posible establecer comparaciones cuando estos coinciden. A tal fin, pueden distinguirse tres niveles de accesibilidad:

- **Accesibilidad Relativa:** Es el grado de conexión que tienen dos lugares situados en el mismo territorio. Es interesante señalar que la accesibilidad relativa entre dos puntos no tiene por qué ser igual en los dos sentidos, pues la distancia puede no ser simétrica.
- **Accesibilidad Integral o Absoluta:** Es el grado de interconexión que tiene un punto con todos los demás que están en el mismo territorio. La fórmula operativa de la accesibilidad integral dependerá del tipo de accesibilidad relativa que se utilice y en términos generales se puede expresar su relación del siguiente modo:

$$A_i = \sum_j^n a_{ij} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

A_i = Accesibilidad integral del punto i

a_{ij} = Accesibilidad relativa entre i y j

n = Número total de puntos en la zona

- **Accesibilidad Global:** Es la suma de las accesibilidades absolutas o integrales de todos los puntos de la zona en estudio, entendiéndose del siguiente modo:

$$A = \sum_i A_i \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

A = Accesibilidad global

A_i = Accesibilidad integral

- **Medidas de Accesibilidad**

A continuación, en la tabla 1 se presentan las medidas de accesibilidad, las cuales tienen los diferentes indicadores que podrían ser elegidos para la evaluación de la accesibilidad.

Tabla 1. Medidas de accesibilidad. Fuente: Elaboración propia (2017).

Medidas Topológicas Son las más antiguas, están basadas en la teoría de grafos y sólo consideran la red de transporte en la zona de estudio, simplificándola y representándola por una malla, en donde cada uno de sus tramos une dos nodos				
Índice	Autor / Año	Descripción	Pro / Contra	Formulación
Indicador de densidad	Izquierdo, R. (1994)	Mide la densidad de infraestructuras de comunicación de una zona en km/km ²	Permite obtener información sobre la disponibilidad de infraestructura vial que hay en cada barrio para posteriormente generar mapas descriptivos sobre el comportamiento de la red en el territorio. / Puede tener muchas variaciones según la ponderación que se haga de las vías o servicio de distinta categoría.	$D = \frac{\text{km de red}}{\text{Área zona de estudio}} \left(\frac{\text{km}}{\text{km}^2} \right)$
Indicador de densidad de Kansky	Potrykowski M. y Taylor, Z. (1978)	Mide la densidad mediante la cuantificación de la dotación de infraestructura y el número de nodos del grafo o zona de estudio	Involucra los tramos de infraestructura vial del sistema en relación a las paradas o estaciones que los conecta, permitiendo visualizar la disponibilidad de las entradas que tienen los usuarios al sistema. / Cuantifica la densidad numerando los tramos en la zona sin tener en cuenta la longitud de los mismos, posibilitando más incertidumbre en sus resultados.	$\beta = \frac{e}{v}; \gamma = \frac{e}{3(v-2)}; \alpha = \frac{e-v}{2v-5}$ Donde: β, γ, α= Indicadores de densidad e= Numero de arcos o tramos de la red v= Numero de nodos

Indicador absoluto de tiempo global	Sarmiento, I., Muñoz, J. y Ángel, C. (2000)	Mide la suma de tiempos de desplazamientos desde un punto a todos los demás	Permite visualizar la velocidad con que se pueden desplazar los usuarios desde un barrio específico hacia todos los nodos (barrios) del territorio teniendo en cuenta la longitud de la red vial. / Tiende a favorecer los puntos ubicados hacia el centro de una red por su localización geográfica.	$T_i = \sum_{j=i}^n t_{ij}$ Donde: t_{ij} = Tiempo mínimo de recorrido de i a j utilizando la red
Factor de ruta	Izquierdo, R. (1994)	Mide la calidad del trazado, es decir su grado de aproximación a la línea recta	Al ser la línea recta el mejor trazado de conexión entre dos puntos se puede ponderar la red vial en función de esta característica. / Al tener trazados con un mismo punto de salida y de llegada se debe tener en cuenta otras condiciones para usarlo.	$r_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^n d_{ij}}{\sum_{j=1}^n d^0_{ij}}$ Donde: r_{ij} = Factor de ruta entre los puntos i y j d_{ij} = Mínima distancia por la red de comunicaciones entre i y j d^0_{ij} = Distancia geográfica o en línea recta de i a j
Índice de trazado y velocidad	Izquierdo, R. (1994)	Es variante del factor de ruta, donde sus resultados se representan gráficamente utilizando curvas isócronas	Los resultados arrojados por las curvas isócronas permiten una mejor visualización de la condición de la red vial del sistema gracias a que el gráfico generado se apoya en el mapa del territorio. / Al ser una variante del factor de ruta también se deberán variar las condiciones de uso para los trazados con mismo punto de salida y llegada.	$Itv_i = \frac{\sum_{j=1}^n t_{ij}}{\sum_{j=1}^n t^0_{ij}}$ Donde: t_{ij} = Tiempo mínimo de recorrido de i a j utilizando la red t^0_{ij} = tiempo ficticio que se tardaría en recorrer la distancia i-j a la velocidad media

Medidas Agregadas: Se basan en la interrelación entre transporte y usos del suelo, proporcionan una información conjunta de un grupo de nodos de la red vial, y su relación con otros.				
Índice	Autor / Año	Descripción	Pro / Contra	Formulación
Indicador de gravedad	Izquierdo, R. (1994)	Incluye el número de habitantes de cada nodo, y se restringe con un valor de impedancia, la cual se define como la dificultad de desplazarse de i a j	Incluye una variable de tipo social, que es el número de habitantes en cada nodo (barrio), permitiendo hacer análisis que incluya el censo poblacional y su estrato social en función del indicador. / Se debe definir la impedancia al desplazamiento, la cual puede variar según el criterio con la que se haga, generando incertidumbre en el resultado.	$a_{ij} = \frac{P_j}{e^{\beta d_{ij}}}, \forall i \neq j$ Donde: P_j = Población del nodo de destino β = Impedancia entre i y j d_{ij} = Distancia en km entre los nodos i y j
Indicador de Hansen	Hansen, W.G. (1959)	Evalúa la atracción de la población para una zona, considerando la cantidad de áreas dispuestas para el desarrollo y combinando el índice de accesibilidad con la disponibilidad de áreas	Permite ver los posibles desplazamientos de los habitantes de un nodo (barrio) teniendo en cuenta las áreas con mayor desarrollo. / No tiene en cuenta la infraestructura de comunicaciones en la zona de estudio para determinar la facilidad de desplazamiento entre el nodo y el área de desarrollo.	$A_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}$ $A_{ij} = \frac{E_j}{d_{ij}^b}$ Donde: A_i = Nivel de accesibilidad de la zona i respecto a la zona j E_j = Total de empleos en la zona d_{ij} = Distancia entre las zonas i y j n = Número de zonas del área de estudio b = Parámetro de calibración

Indicador de Hirshman y Henderson	Barcellos, V., Goncalves, A., Lopes, F. (2000)	Mide los pesos respecto al crecimiento poblacional de toda una región y en función de la accesibilidad de una subregión en comparación de la región de la cual se divide	Separa y da un peso a la accesibilidad de cada subregión (barrio) del territorio a la hora de analizar el comportamiento del crecimiento poblacional de todo el territorio (Cali). Debido a la desigualdad social en el territorio la tasa de crecimiento poblacional puede variar en zonas del territorio, generando incertidumbre a la hora de darle un peso a la accesibilidad de cada nodo (barrio) respecto a la tasa de crecimiento de todo el territorio (Cali)	$G_j = G_t \frac{L_j * A_j}{\sum_{i=1}^n L_j * A_j}$ Donde: G_j = Incremento de crecimiento de la población asignada en la subregión j G_t = Crecimiento total proyectado para la subregión j A_{ij} = Accesibilidad entre la subregión i y la subregión j
Índice de provisión de transporte público (IPTP)	Jaramillo et al (2012)	Cuantifica la cantidad de transporte público en una zona, y emplea variables de infraestructura que califican el acceso al servicio	Se relaciona directamente con la infraestructura vial, estaciones y paradas encontrada en cada barrio permitiendo analizar la accesibilidad de los usuarios al sistema.	$A - IPTP_j = \frac{1}{A_j} \sum_{i=1}^n S_{ij} W_{ci} W_{fi}$ Donde: $W_{ci} = C_i / C_{min}$ $W_{fi} = f_i / f_{min}$ n = # de servicios de transporte publico S_{ij} = # de paradas para el servicio i en j W_{ci} = factor de peso de capacidad de i W_{fi} = factor de peso para frecuencia de j A_j = área del distrito j P_j = población del distrito j

3. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO DE SANTIAGO DE CALI – MIO

El Sistema Integrado de Transporte Masivo MIO tiene el propósito de reemplazar en su totalidad el transporte público colectivo (TPC) de la ciudad de Santiago de Cali, articularse a otros medios de transporte, reducir emisiones contaminantes y desestimular el uso de transporte particular, buscando con esto facilitar las condiciones de accesibilidad y movilidad de las personas en la ciudad, y en ese orden de ideas mejorar la calidad de vida de los habitantes de Cali.

Para ello el sistema MIO ha desarrollado en la ciudad un gran proyecto integrador que ha aportado al mejoramiento de las vías principales de la ciudad, la construcción de terminales y la recuperación del espacio público. La infraestructura del SITM MIO consta de (Metro Cali S.A., 2013):

1. Construcción de 49 kilómetros de corredores troncales con carril exclusivo solo bus.
2. Adecuación funcional de al menos 248 kilómetros de corredores pretroncales y complementarios con carriles mixtos, que no requieren separación física.
3. Construcción de 55 estaciones de parada en corredores troncales, separadas cada 500 metros en promedio.
4. Adecuación de 1616 puntos de parada en corredores pretroncales y complementarios, separados cada 300 metros en promedio.
5. Construcción y/o adecuación de 10 puentes peatonales y 5 puentes vehiculares en corredores troncales.
6. Adecuación de 12 intersecciones vehiculares en corredores troncales y de 3 intersecciones vehiculares en los corredores pretroncales y complementarios.
7. Construcción de 5 terminales de cabecera y 4 terminales intermedias.
8. Señalización y demarcación de corredores troncales, pretroncales y complementarios.
9. Construcción del sistema de transporte aéreo suspendido MIO Cable

La circulación de los vehículos del sistema se concentra en los corredores, terminales, estaciones y paradas, además de las cabinas de MIO Cable, las cuales se reconocen por sus siguientes conceptos:

3.1. CORREDORES TRONCALES

Son vías construidas en carriles centrales de las principales avenidas dentro del perímetro urbano y que cuentan con una demanda mayor a los sesenta mil (60.000) pasajeros por día. Su uso es exclusivo para los buses articulados del SITM MIO y cuenta con estaciones de parada a cada 500 metros (Metro Cali S.A., 2013). Los corredores troncales del SITM MIO son:

- Carrera 1
- Calle 5
- Carrera 15
- Centro: Calles 13 y 15
- Avenida 3N
- Troncal de Aguablanca



Figura 1. Corredor troncal.
Fuente: Metro Cali S.A. (2016).

3.2. CORREDORES PRETRONCALES Y COMPLEMENTARIOS

Son vías que concurren en los corredores troncales, y en las cuales los vehículos circulan sin separación física con el resto de la vía. Las paradas en estos corredores se hacen en el transcurso del trayecto a cada 300 metros en promedio (Metro Cali S.A., 2013).

3.3. TERMINALES DE CABECERA E INTERMEDIAS

Las terminales del SITM MIO, son espacios de integración donde se concentran los usuarios, y se distribuyen al interior de la ciudad a través de las diferentes rutas que confluyen en estas. Las terminales son de dos tipos: de cabecera e intermedias.

Las terminales de cabecera son aquellas que están ubicadas en los extremos de la ciudad y desde donde salen o llegan los buses que cubren los sectores suburbanos (municipios aledaños). Además, permiten realizar trasbordos entre rutas troncales, pretroncales y alimentadoras, al igual que trasbordos desde y, en algunos casos, hacia buses intermunicipales (Metro Cali S.A., 2013). Las terminales de cabecera que conforman el sistema MIO son:

- Terminal Andrés Sanín (Troncal Carrera 15)
- Terminal Menga (Troncal Avenida 3N)
- Terminal Paso del Comercio (Troncal Carrera 1)
- Terminal Lili o Sur (Troncal Calle 5)
- Terminal Aguablanca (Troncal de Aguablanca)

De estas, se encuentran ya construidas y en operación las terminales Andrés Sanín, Menga y Paso del Comercio.



Figura 2. Terminal de Cabecera Andrés Sanín.
Fuente: Sainc (2012).

Por su parte, las terminales intermedias, están ubicadas al interior de la ciudad, en sitios cercanos a cruces con vías importantes y puntos de generación de abundante demanda, permitiendo trasbordos entre servicios de buses de corredores troncales, pretroncales y complementarios. Las terminales intermedias que conforman el sistema MIO son:

- Terminal Cañaveralejo: Calle 5 entre carreras 50 y 52
- Terminal Calipso: Calle 70 entre carreras 28D y 29
- Terminal Guadalupe: Calle 25 entre carreras 61 y 69
- Terminal Centro: Calles 13 y 15 entre carreras 11 y 12
- Terminal Glorieta Estación: Avenida de las Américas con calle 25

De las anteriores estaciones, se encuentran ya construidas y en operación las terminales Cañaveralejo y Calipso.



Figura 3. Terminal Intermedia Calipso.
Fuente: Alcaldía de Santiago de Cali (2015).

3.4. ESTACIONES DE PARADA

Las estaciones de parada son los lugares de detención de los vehículos del SITM MIO en los corredores troncales. Están ubicadas en el separador central de los mismos, con una distancia promedio de 500 metros entre cada una. La principal característica es que poseen una plataforma a nivel con el piso interno de los buses articulados (90 cm. de altura desde el nivel de la vía) para permitir el rápido embarque de los pasajeros por el lado izquierdo de los buses (Metro Cali S.A., 2013). Las estaciones de parada del sistema MIO se distribuyen en los corredores troncales como se muestra a continuación:

Tabla 2. Estaciones de parada del corredor troncal Carrera 1

TRONCAL CARRERA 1 (9)			
ESTACIÓN	DIRECCIÓN	VAGONES	PLATAFORMAS
Chiminangos	Cra. 1 - Cl. 62	2	4
Flora Industrial	Cra. 1 - Cl. 56	1	2
Salomia	Cra. 1 - Cl. 47	1	2
Popular	Cra. 1 - Cl. 44	2 *	4 *
Manzanares	Cra. 1 - Cl. 39	1	2
Fátima	Cra. 1 - Cl. 30	1	2
Piloto	Cra. 1 - Cl. 24	1	2
Río Cali	Cra. 4N - Cl. 23	1	2
San Nicolás	Cra. 1 - Cl. 21	1	2

* Estación opera con 1 vagón y 2 plataformas de parada

Fuente: Adaptado de Metro Cali S.A. (2016).

Tabla 3. Estaciones de parada del corredor troncal Carrera 15

TRONCAL CARRERA 15 (9)			
ESTACIÓN	DIRECCIÓN	VAGONES	PLATAFORMAS
7 de Agosto	Dg. 15 - Cl. 71A	2	4
El Trébol	Cra. 15 - Cl. 58	1	2
Villa Colombia	Cra. 15 - Cl. 52	1	2
Chapinero	Cra. 15 - Cl. 44	1	2
Atanasio Girardot	Cra. 15 - Cl. 34	1	2
Floresta	Cra. 15 - Cl. 30	1	2
Belalcázar	Cra. 15 - Cl. 21	1	2
San Pascual	Cra. 15 - Cl. 13/15	3	6 *
San Bosco	Cra. 15 - Cl. 9	2	4

* Estación opera con 5 plataformas de parada

Fuente: Adaptado de Metro Cali S.A. (2016).

Tabla 4. Estaciones de parada del corredor troncal Calle 5

TRONCAL CALLE 5 (15)			
ESTACIÓN	DIRECCIÓN	VAGONES	PLATAFORMAS
Santa Librada	Cl. 5 - Cra. 22	2	4
Manzana del Saber	Cl. 5 - Cra. 27	2	4
Estadio	Cl. 5 - Cra. 34	2	4
Tequendama	Cl. 5 - Cra. 39	2	4
Lido	Cl. 5 - Cra. 44	2	4
Unidad Deportiva	Cl. 5 - Cra. 52	1	6
Plaza de Toros	Cl. 5 - Cra. 56	1	2
Pampalinda	Cl. 5 - Cra. 62	1	2
Refugio	Cl. 5 - Cra. 66	1	2
Caldas	Cl. 5 - Cra. 70	1	2
Capri	Cl. 5 - Cra. 78	4	4
Meléndez	Cl. 5 - Cra. 94	1	2
Buitrera	Cra. 100 - Cl. 11	2	2
Univalle	Cra. 100 - Cl. 13	2	2
Universidades	Cra. 100 - Cl. 16	4	4 (+8 Alim.)

Fuente: Adaptado de Metro Cali S.A. (2016).

Tabla 5. Estaciones de parada del corredor troncal Centro: Calles 13 y 15

TRONCAL CENTRO (9)			
ESTACIÓN	DIRECCIÓN	VAGONES	PLATAFORMAS
Torre de Cali	Av. 3N - Cl. 15	2	4
La Ermita	Cl. 13 - Cra. 4	2	2
Plaza Cayzedo	Cl. 13 - Cra. 4	1	1
Centro	Cl. 13 - Cra. 8	2	2
Santa Rosa	Cl. 13 - Cra. 10	1	1
Fray Damián	Cl. 13 - Cra. 15	3	3
Sucre	Cl. 15 - Cra. 15	3	3
Petecuy	Cl. 15 - Cra. 8	3	3
San Pedro	Cl. 15 - Cra. 4	3	3

Fuente: Adaptado de Metro Cali S.A. (2016).

Tabla 6. Estaciones de parada del corredor troncal Avenida 3N

TRONCAL AVENIDA 3N (5)			
ESTACIÓN	DIRECCIÓN	VAGONES	PLATAFORMAS
Álamos	Av. 3N - Cl. 52	1	2
Vipasa	Av. 3N - Cl. 44	1	2
Prados del Norte	Av. 3N - Cl. 38	1	2
Las Américas	Av. 3N - Cl. 23AN	1	2
Versalles	Av. 3N - Cl. 21	1	2

Fuente: Adaptado de Metro Cali S.A. (2016).

Tabla 7. Estaciones de parada del corredor troncal Aguablanca

TRONCAL AGUABLANCA (8)			
ESTACIÓN	DIRECCIÓN	VAGONES	PLATAFORMAS
Nuevo Latir	Cra. 28D - Cl. 83	1	2
Amanecer	Cra. 28D - Cl. 72U	1	2
Troncal Unida	Cra. 28D - Cl. 72I	1	2
Conquistadores	Tr. 29 - Cl. 44	1	2
Villanueva	Tr. 25 - Cl. 32	1	2
Santa Mónica	Tr. 25 - Cl. 28	1	2
Primitivo	Tr. 25 - Dg. 18	1	2
Cien Palos	Cra. 17 - Cl. 18	1	2

Fuente: Adaptado de Metro Cali S.A. (2016).



Figura 4. Estación Universidades.
Fuente: Metro Cali S.A. (2014).

3.5. PUNTOS DE PARADA

Son lugares posicionados a lo largo de los corredores pretrunciales y alimentadores cada 300 metros en promedio. Están destinados a la detención segura de los vehículos del SITM MIO, garantizando el abordaje y descenso de los pasajeros. Se ubican en las áreas de espacio público constitutivas del andén (a 20 cm de altura desde el nivel de la vía). Estos puntos de parada son adecuados y equipados con mobiliario urbano (señales informativas, bancas de concreto, bolardos, cobertizos, entre otros) que permiten la espera cómoda del servicio de transporte público (Metro Cali S.A., 2013).

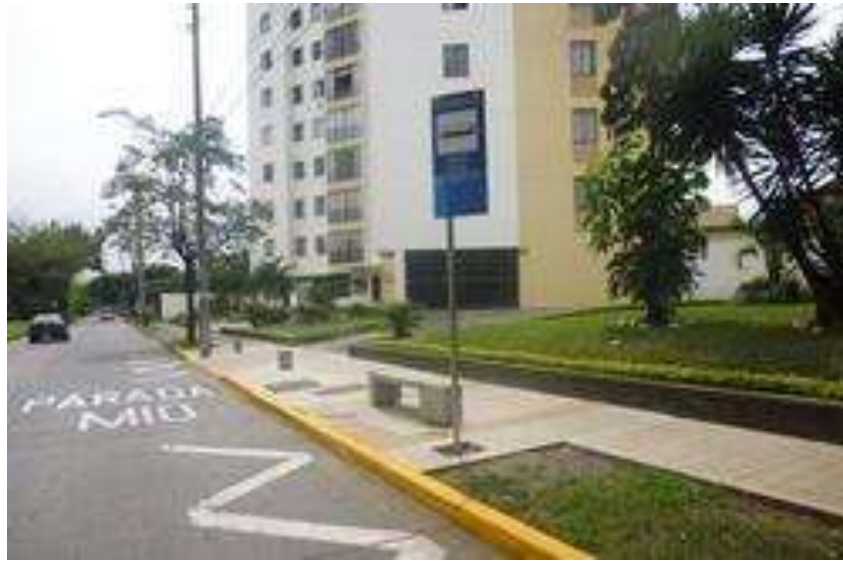


Figura 5. Punto de parada MIO.
Fuente: Metro Cali S.A. (2014).

3.6. PATIOS Y TALLERES

El SITM MIO cuenta con instalaciones de patios y talleres en diferentes puntos de la ciudad, estas instalaciones son para el uso exclusivo de buses del MIO y están destinadas para el parqueo de los vehículos que no se encuentren en circulación o debido a que necesitan mantenimiento; también se realizan actividades como el llenado de combustible, lubricación y lavado interno y externo (Metro Cali S.A., 2013). Se tienen en cuenta 4 instalaciones de patios y talleres para apoyar el sistema, sin embargo, desde su inicio de operación el MIO cuenta con dos instalaciones en operación y dos instalaciones aún en etapa de estudios y diseños.

3.6.1. INSTALACIONES EN OPERACIÓN

- **Patio Taller Norte Calima – Sameco:** Ubicado en el norte de la ciudad, en la Avenida 2C con Calle 74N, y operado por el concesionario Blanco y Negro Masivo. Puesto en operación en el año 2009.
- **Patio Taller Puerto Mallarino:** Ubicado en el oriente de la ciudad, en la Calle 84 con Carrera 26C, de la Comuna 14, y operado por el concesionario Unimetro. Fue puesto en operación en el año 2009.

3.6.2. INSTALACIONES QUE AÚN NO ENTRAN EN OPERACIÓN

- **Patio Taller Sur Valle del Lili:** Ubicado en el sur de la ciudad, en la Carrera 109 con Calle 25, en el Área de Expansión Urbana de Cali, y asignado al concesionario GIT Masivo. Actualmente se encuentra en estudios y diseños.
- **Patio Taller Sur Aguablanca:** Ubicado en el oriente de la ciudad, en la Carrera 28D con Calle 112, en la Comuna 21, y asignado al concesionario ETM. Actualmente se encuentra en estudios y diseños.



Figura 6. Patio Taller Calima Sameco.
Fuente: Metro Cali S.A. (2014)

3.7. TIPOLOGÍAS DE VEHÍCULOS

El sistema implementa 3 tipos de vehículos para el transporte de los usuarios, bus articulado, bus padrón y bus complementario (Figuras 7, 8 y 9), cada uno definido con diferentes características expuestas en la Tabla 8 a continuación.



Figura 7. Bus Articulado.
Fuente: GIT MASIVO S.A. (2013)



Figura 8. Bus Padrón.
Fuente: GIT MASIVO S.A. (2013)



Figura 9. Bus Complementario.
Fuente: GIT MASIVO S.A. (2013)

Tabla 8. Tipologías y características de vehículos del SITM MIO.
Fuente: Metro Cali S.A. (2016) y GIT MASIVO S.A. (2013)

Característica	Bus Articulado	Bus Padrón	Bus Complementario
Color	Azul	Azul	Verde
Parada	Sólo en las estaciones	Estaciones y paraderos demarcados en el perímetro urbano	Paraderos demarcados en los barrios
Circulación	Corredores troncales	Corredores pretroncales	Corredores complementarios
Capacidad	160 pasajeros	80 pasajeros	51 pasajeros
Rutas	T (Troncal) y E (Expreso)	P (Pretroncal) y A (Alimentador)	A (Alimentador)
Horarios	Lunes-sábado (5:00 am-11:00 pm) Domingo y Festivo (6:00 am-10:00 pm)	Lunes-sábado (5:00 am-11:00 pm) Domingo y Festivo (6:00 am-10:00 pm)	Lunes-sábado (5:00 am-11:00 pm) Domingo y Festivo (6:00 am-10:00 pm)

3.8. MIO CABLE

Es un medio de transporte urbano que consiste en un sistema teleférico, cuenta con noventa (90) cabinas suspendidas (Figura 9) a las cuales los usuarios pueden acceder a través de cuatro (4) estaciones; las cuales son Estación Cañaveralejo, Tierra Blanca, Lleras Camargo y Brisas de Mayo. Tiene un recorrido de 2,08 km, que se recorre en aproximadamente 14 minutos, con una frecuencia máxima de 300 cabinas por hora y una capacidad máxima de 3.000 pasajeros por hora (Metro Cali S.A., 2015).



Figura 10. Cabina suspendida del MIO Cable.
Fuente: EL TIEMPO (2016)

4. METODOLOGÍA

4.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La recolección de la información para llevar a cabo el proyecto se realizó en dos partes: una de ellas involucrando la zona de estudio, la cual se adelantó mediante la información encontrada por comunas y barrios generadas por la Alcaldía de Santiago de Cali y sus dependencias, y en investigaciones previas realizadas por el Grupo de Investigación de Transporte, Tránsito y Vías (GITTV) de la Universidad del Valle, al cual está vinculado este proyecto. Para esta fase se obtuvieron los datos relacionados a continuación, los cuales se tabularon y organizaron:

- Identificación de la totalidad de los barrios situados en Santiago de Cali
- Población residente
- Estrato socioeconómico moda
- Área del barrio

Por otro lado, para facilitar el cálculo de los indicadores de accesibilidad, se gestionó la información socioeconómica de los barrios de la ciudad por medio de los responsables del proyecto de investigación “Movilidad en transporte y segregación socio-espacial: un estudio de equidad para Cali”, adscrito a la Facultad de Socioeconomía de la Universidad del Valle. De la base de datos entregada, se utilizaron los datos de densidad de empleos (tanto formales como informales) por barrio.

El otro componente de esta fase involucró información relacionada con el sistema de transporte masivo, para lo cual se gestionó esta información con Metro Cali S.A., ente gestor del MIO, recolectando los datos relacionados con:

- Longitud total de corredores del sistema (troncales, pretroncales y alimentadores)
- Tipos de vehículos del sistema y sus respectivas capacidades
- Número total de rutas y sus respectivas tipologías
- Longitud de cada ruta
- Intervalos y frecuencias de paso por cada ruta en hora pico
- Tiempos de ciclo por ruta
- Velocidades promedio por ruta
- Listado de puntos de parada del sistema (estaciones y paraderos sobre las vías)
- Red de rutas y puntos de parada del sistema MIO y MIO Cable en formato .shp

Toda la información base recolectada fue compilada y procesada en una base de datos que involucró información numérica y cartográfica para así proceder con el cálculo de los indicadores pertinentes.

4.2. DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La ciudad de Santiago de Cali es la capital del departamento del Valle del Cauca, así como también es la tercera ciudad más poblada de Colombia y la primera en el suroccidente colombiano, con una población de 2.394.925 habitantes al año 2016. El municipio tiene un área total de 561,7 km², de los cuales 119,21 km² corresponden a su zona urbana y el resto a la zona rural y el área de expansión. Se localiza a una altitud de 1.070 msnm, con una temperatura promedio de 24,7 °C (Alcaldía de Santiago de Cali, 2016).

Administrativamente, la ciudad se ha sectorizado en comunas (en la zona urbana) y corregimientos (zona rural). Por medio del Acuerdo 15 de agosto 11 de 1998 la ciudad se subdividió en 20 comunas en la zona urbana y 15 corregimientos en la zona rural. Los Acuerdos 10 de agosto de 1998 y 134 de agosto 10 de 2004 crearon las comunas 21 y 22 (Alcaldía de Santiago de Cali, 2016). Los corregimientos se subdividen a su vez en veredas, mientras que las comunas se dividen en barrios, de los cuales actualmente existen 334 legalmente constituidos.

De acuerdo con la distribución de los barrios de la ciudad por su respectivo estrato moda, se encuentra que más del 60% de los mismos pertenecen a los estratos bajo y medio-bajo, predominando este último, mientras que un 4% de los sectores de la ciudad son caracterizados como estrato alto. Lo anterior puede observarse en la Figura 11.

Por otra parte, al analizar la distribución socioeconómica de la población de la zona urbana de la ciudad se observa que las dos terceras partes pertenecen a los estratos socioeconómicos bajo y medio-bajo, predominando el estrato bajo, mientras que menos del 10% de la población forma parte de los estratos altos, como puede verificarse en la Figura 12.

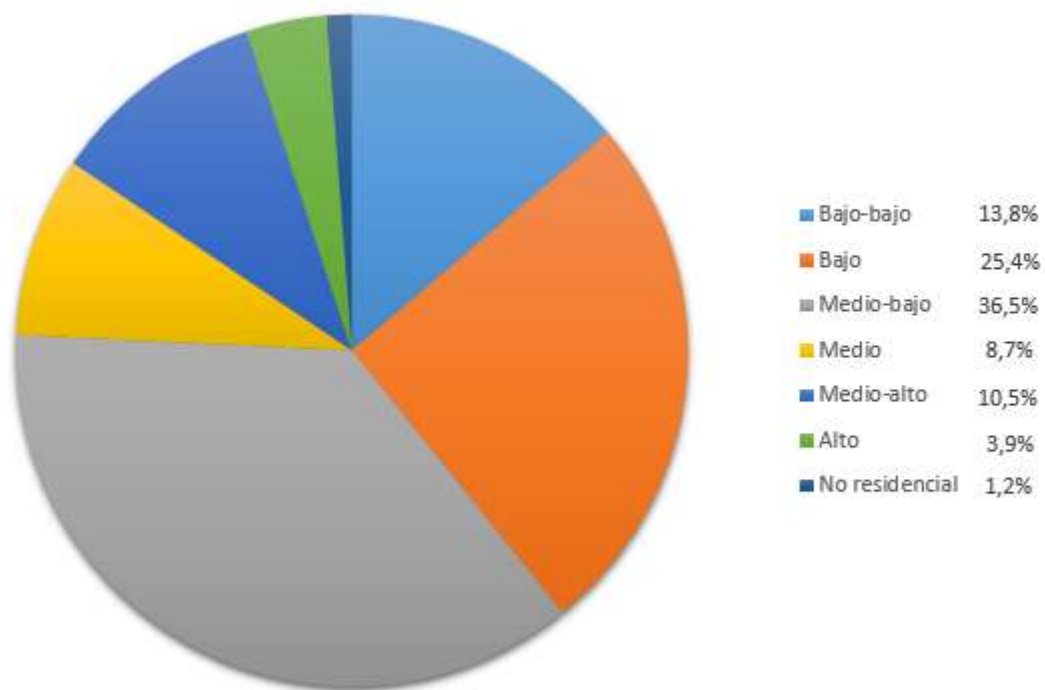


Figura 11. Distribución socioeconómica de barrios de la ciudad de Cali.
Fuente: Adaptado de Alcaldía de Santiago de Cali (2016).

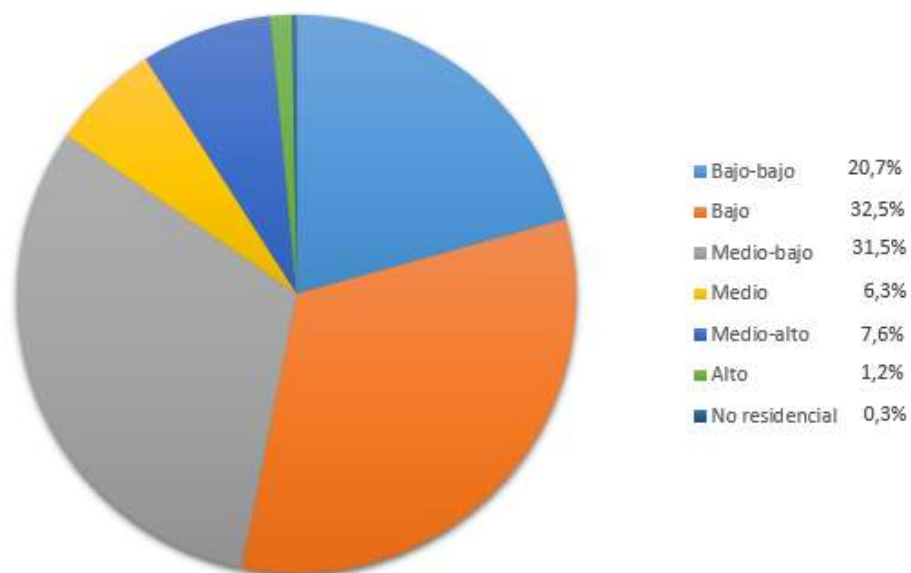


Figura 12. Distribución socioeconómica de la población urbana de la ciudad de Cali.
Fuente: Elaboración propia (2016).

Al comparar las dos distribuciones anteriores, se evidencia que existe cierta correspondencia entre las proporciones de sectores y población por estrato socioeconómico, sin embargo, para ambas figuras cambia el estrato predominante. A pesar que se presenta un mayor número de barrios pertenecientes al estrato medio-bajo, los sectores pertenecientes al estrato bajo concentran una mayor población, seguidos por los barrios catalogados dentro del estrato medio-bajo. En la Figura 13, se puede observar la distribución espacial de barrios de acuerdo con su estrato moda, en la cual se muestra que los barrios pertenecientes al estrato bajo se ubican principalmente al oriente (comuna 6 y Distrito de Aguablanca) y occidente de la ciudad (comunidades 1, 18 y 20), mientras que los estratos altos predominan en el norte y sur de la ciudad.

Igualmente, y al analizar la densidad poblacional de los barrios de la ciudad (Figura 4), se observa que la gran mayoría de los sectores más densamente poblados se encuentran concentrados en tres zonas: el oriente de la ciudad especialmente en los sectores de Mojica, Comuneros, El Retiro, El Vergel y El Vallado, el nororiente en los barrios Los Alcázares, Paso del Comercio, Petecuy, Floralia y San Luis, y la ladera de la ciudad en las comunas 20 (Siloé y barrios circunvecinos), 1 (Terrón Colorado y Vistahermosa) y 18 (sectores de Los Chorros y Alto Jordán), mientras que las zonas menos densamente pobladas se encuentran al sur y centro de la ciudad, principalmente en la comuna 22 cuyos sectores son extensos pero no cuentan con una población numerosa, y en la comuna 3 que se caracteriza por ser el centro de la ciudad y como tal sus barrios no cuentan con una gran población residente.

Al comparar esta información con lo obtenido de la Figura 13 donde se presenta el estrato moda por barrio, se encuentra que estos sectores con altas densidades poblacionales corresponden en su mayoría a sectores de bajos ingresos socioeconómicos, mientras que, a su vez, los barrios de estratos altos tienen por lo general bajas densidades poblacionales. Sin embargo, esta correspondencia no se cumple en zonas como los barrios San Pascual y Sucre, caracterizados como zonas de estrato socioeconómico muy bajo pero cuya densidad poblacional es baja dado que se encuentran localizados en el centro de la ciudad.

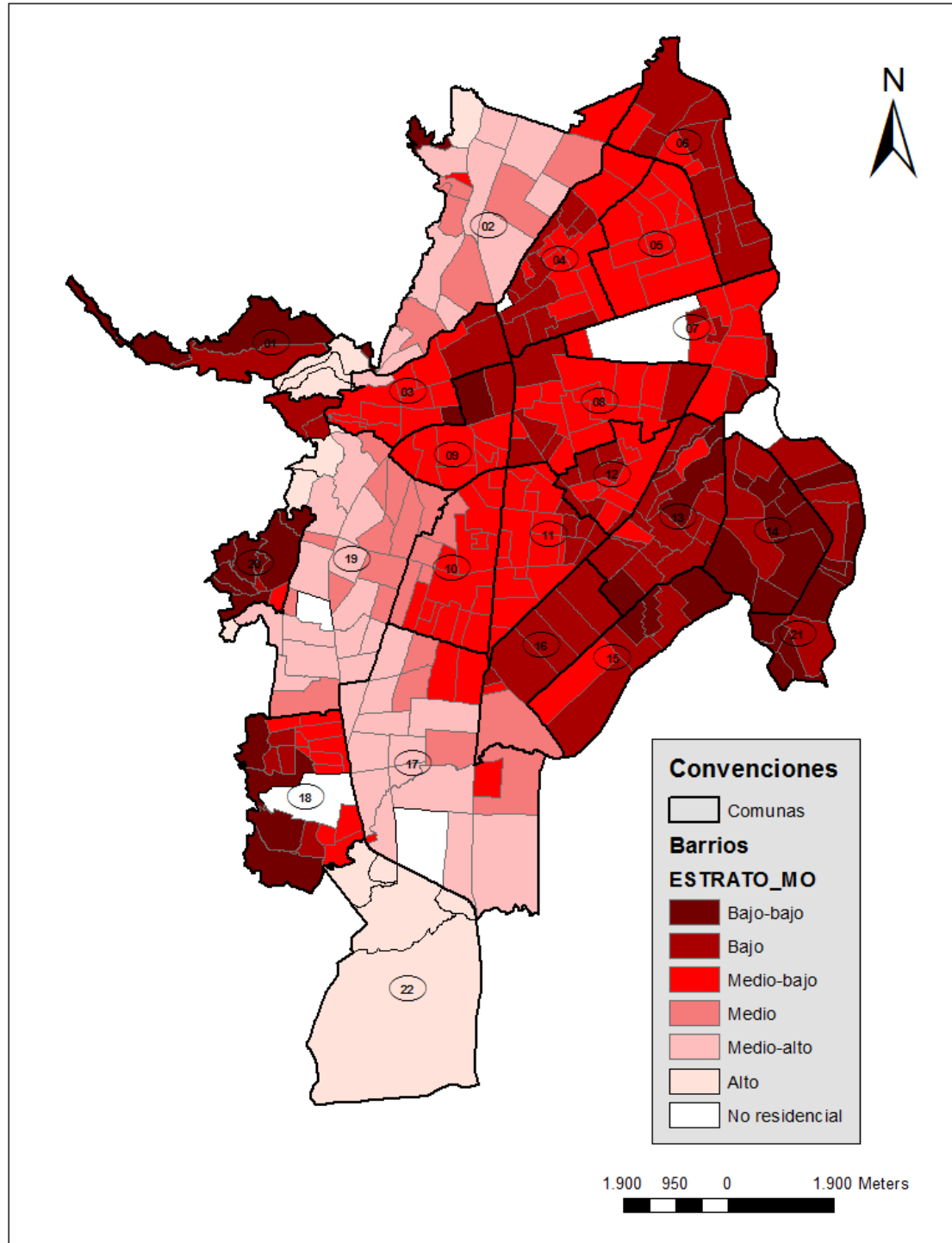


Figura 13. Estratificación socioeconómica de los barrios de Cali.
Fuente: Alcaldía de Santiago de Cali (2016).

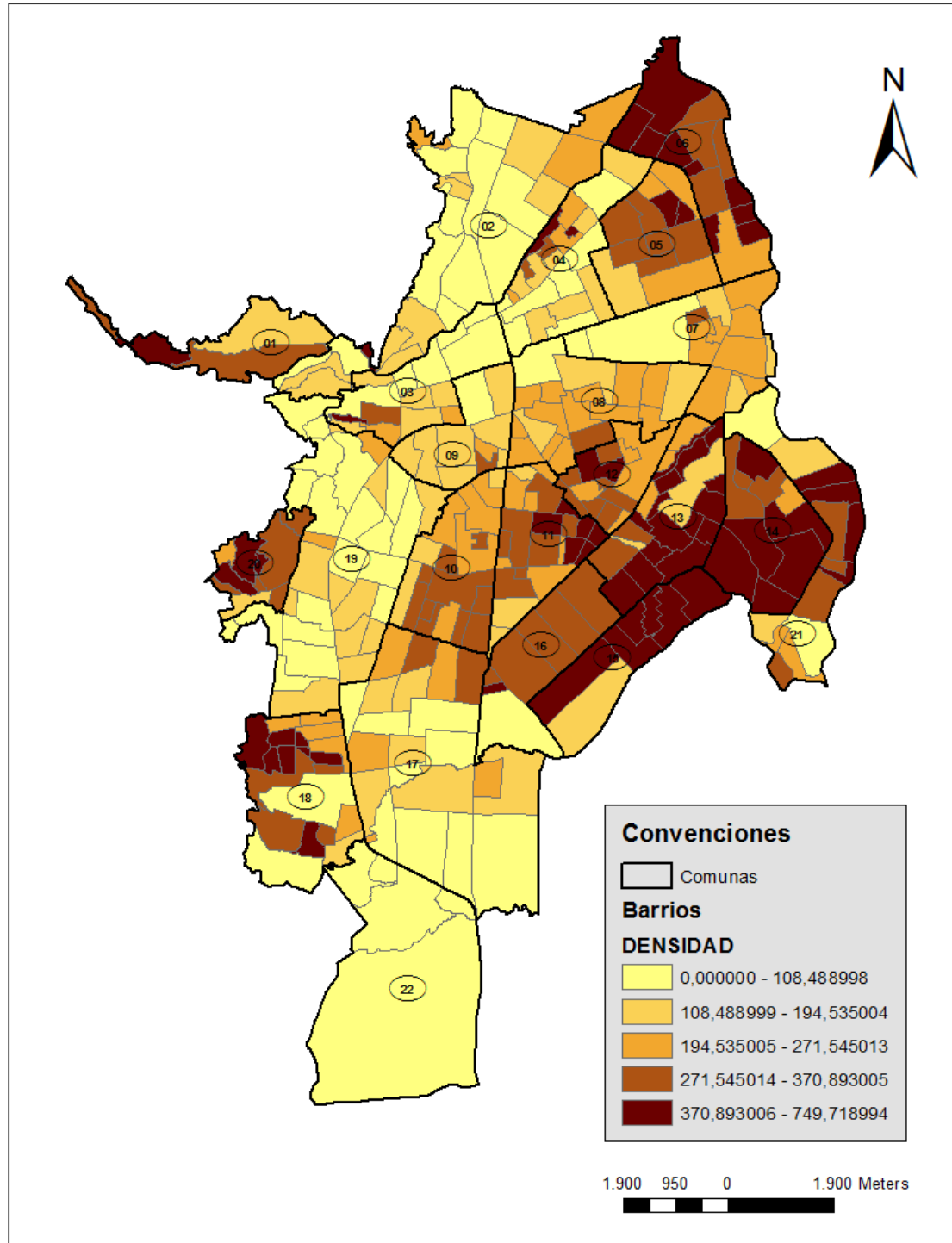


Figura 14. Densidad poblacional de los barrios de Cali en hab/km².
Fuente: Elaboración propia (2017).

4.2.1. DETERMINACIÓN DE ZONAS Y CENTROIDES

Dado que para el desarrollo de este proyecto es fundamental relacionar la información referente al SITM-MIO con la información geográfica y social de la zona de estudio, se realizó una representación cartográfica de la zona urbana de Cali con el fin de identificar zonas para medir sus indicadores de accesibilidad. Se optó por trabajar con 334 polígonos, cada uno representando un barrio para efectos de trabajar con la unidad básica de división administrativa de la ciudad. Mediante el programa ArcGis en su versión 10.3, se obtuvieron los centroides de cada barrio con los cuales se realizó la medición de los indicadores de accesibilidad del sistema MIO para cada uno de los sectores de la ciudad. Los centroides obtenidos para cada uno de los polígonos identificados se encuentran a continuación en la figura 15:

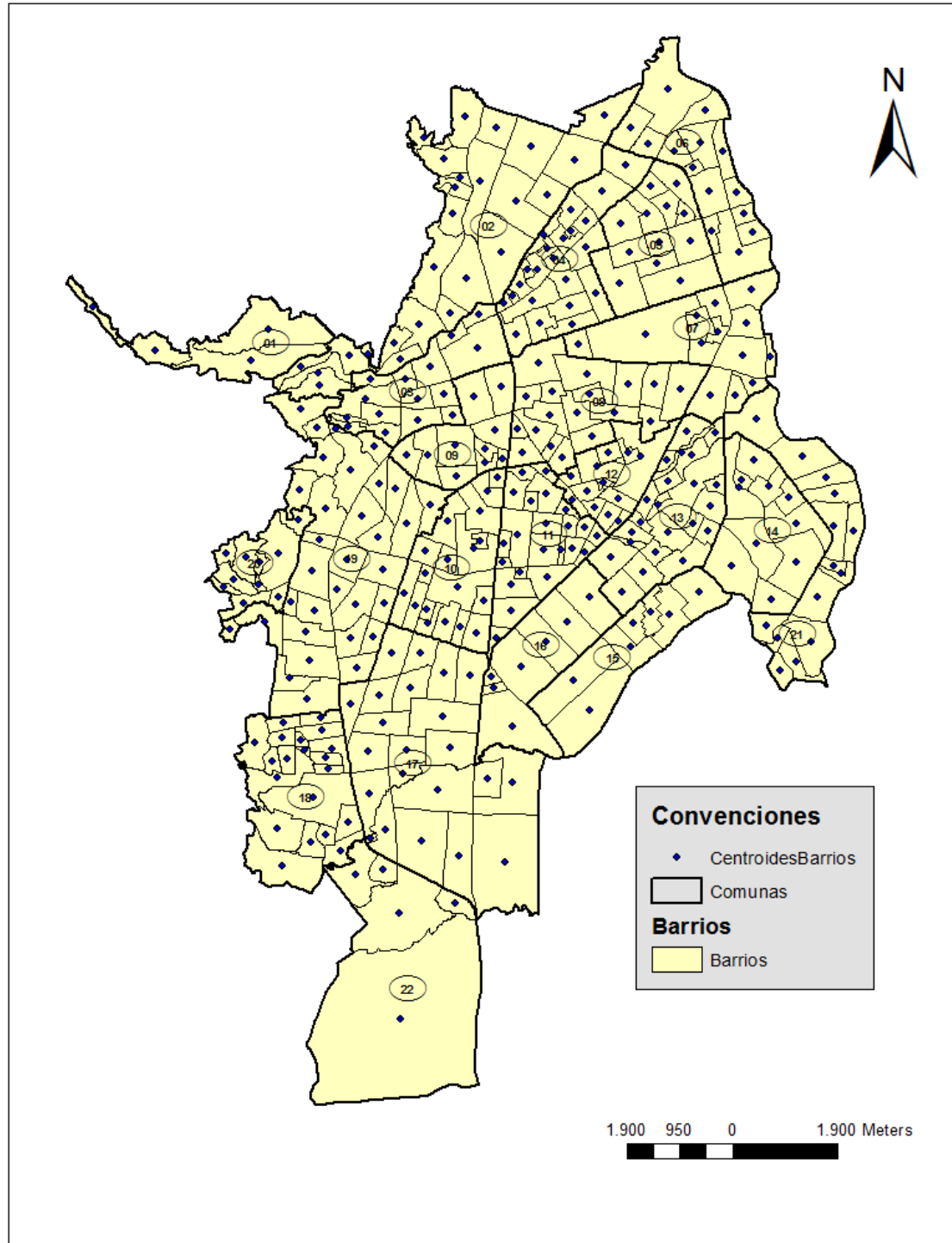


Figura 15. Mapa de barrios de Cali con sus respectivos centroides.
Fuente: Elaboración propia (2017).

4.3. CARACTERIZACIÓN DE RUTAS DEL SITM MIO

El sistema MIO tiene programado a septiembre del año 2016 la circulación de 776 vehículos en 96 rutas que abarcan una malla vial de aproximadamente 1500 km de longitud y que a su vez están subdivididas por tipología de servicio en 7 rutas expresas, 6 troncales, 26 pretroncales y 57 alimentadoras. Esta oferta de rutas ha permitido que el sistema alcance una cobertura espacial del 92,56% en el territorio de Cali, la cual sin embargo se espera mejorar con acuerdos de integración con otros agentes como el transporte público colectivo aún presente en la ciudad, los camperos que operan en la zona de ladera y las empresas que prestan el servicio intermunicipal (Metro Cali S.A., 2017). El sistema cuenta con 2079 puntos de parada, las cuales están distribuidas en estaciones (75 en total) y entre los barrios y calles de la ciudad. Las rutas con las que el sistema se muestran en las tablas 9 y 10, relacionadas a continuación:

Tabla 9. Rutas expresas, troncales y pretroncales operativas del SITM-MIO a septiembre de 2016.

Fuente: Metro Cali S.A. (2016)

EXPRESAS	TRONCALES	PRETRONCALES			
E21	T31	P10A	P21B	P40A	P52D
E27	T40	P10B	P24A	P40B	P71
E27B	T42	P10D	P24B	P47A	P72
E31	T47B	P12A	P24C	P47B	P80A
E37	T50	P14A	P27C	P47C	P82
E41	T57A	P17	P27D	P51	
E52		P21A	P30A	P52A	

Tabla 10. Rutas alimentadoras operativas del SITM-MIO a septiembre de 2016.
Fuente: Metro Cali S.A. (2016)

ALIMENTADORAS									
A01A	A11	A13B	A17C	A23	A35B	A42A	A52	A71	A77
A02	A12A	A13C	A18	A24	A36	A42B	A53	A72A	A78A
A03	A12B	A14A	A19A	A32	A37A	A44A	A55	A72B	A85
A04	A12C	A14B	A19B	A33	A37B	A44B	A56	A73	
A05	A12D	A17A	A21	A34	A41A	A45B	A57	A75	
A06	A13A	A17B	A22	A35A	A41B	A47	A70	A76	

La movilidad de las personas pone a prueba la efectividad del sistema en las horas pico, en donde se da la mayor congestión de usuarios que se transportan a sus lugares de academia o trabajo. Los estudios de Metro Cali realizados a la operación del sistema indicaron que la hora pico de la mañana se presenta entre las 6 y 7 am, la cual será la franja horaria en que se concentrará el análisis del mismo para este proyecto debido a su mayor demanda de movilidad. En el anexo 1 se muestran los datos suministrados por Metro Cali sobre las características y disponibilidad de las rutas del sistema MIO en las horas pico y en día hábil. Las siguientes tablas (11 y 12), resumen la capacidad del sistema para dichas condiciones en datos como la longitud promedio, velocidad promedio, intervalo mínimo de paso promedio y frecuencia promedio de las rutas, tanto en servicio y tipología.

Tabla 11. Datos de las rutas del SITM-MIO en hora pico-día hábil por servicio.
Fuente: Metro Cali S.A. (2016)

SERVICIO	LONGITUD PROMEDIO [km]	VELOCIDAD PROMEDIO [km/h]	INTERVALO MÍNIMO PROMEDIO [min]	FRECUENCIA PROMEDIO [veh/h]	FLOTA (veh)
EXPRESA	26,69	19,53	5,19	12,03	119
TRONCAL	22,75	16,90	4,53	13,81	110
PRETRONCAL	26,82	16,02	9,15	6,98	306
ALIMENTADOR	8,90	17,29	9,39	8,03	241
				TOTAL	776

Tabla 12. Datos de las rutas del SITM-MIO en hora pico-día hábil por tipología.
Fuente: Metro Cali S.A. (2016)

<i>TIPOLOGÍA</i>	<i>LONGITUD PROMEDIO [km]</i>	<i>VELOCIDAD PROMEDIO [km/h]</i>	<i>INTERVALO MÍNIMO PROMEDIO [min]</i>	<i>FRECUENCIA PROMEDIO [veh/h]</i>	<i>FLOTA (veh)</i>
ARTICULADO	25,90	18,23	4,53	13,85	176
PADRÓN	20,25	16,48	7,92	8,32	456
COMPLEMENTARIO	9,08	17,48	10,69	6,93	144
				TOTAL	776

Con base en la información obtenida de Metro Cali del sistema de rutas, estaciones y paradas empleadas por el sistema MIO se realizó el mapeo de esta información, permitiendo tener una perspectiva más acertada de la distribución del sistema en la ciudad y dar análisis a la misma. Esto se realizó mediante el software ArcGis, en el cual se ubicaron las capas de trazado de las rutas del sistema, puntos de parada y barrios de la ciudad, al igual que la línea del MIO Cable y sus estaciones. El resultado de esta georreferenciación se muestra en las siguientes figuras (Figuras 16, 17, 18 y 19), las cuales muestran el conjunto de rutas del sistema por tipología a septiembre de 2016 y la distribución espacial en la ciudad de los puntos de parada del sistema.

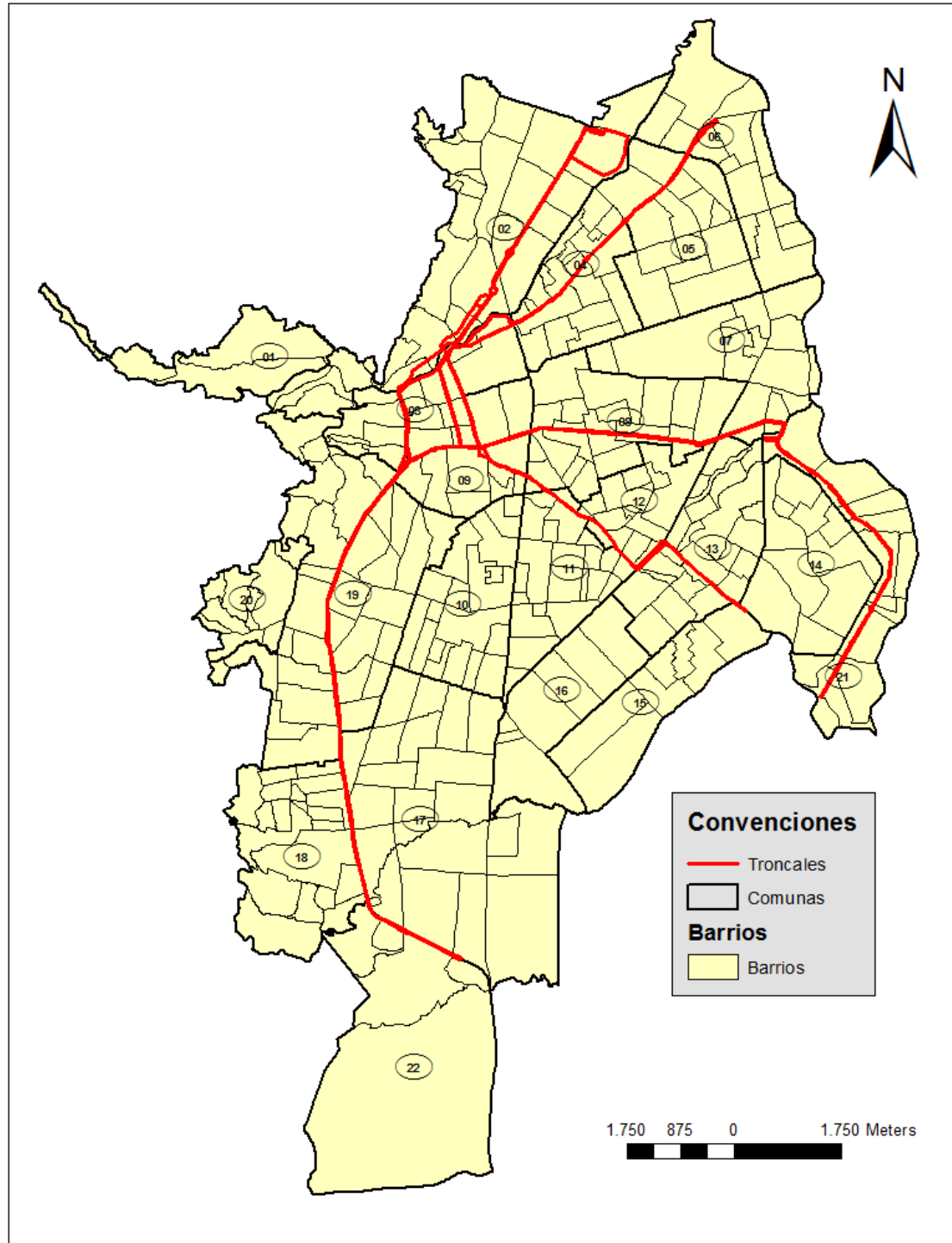


Figura 16. Rutas troncales del sistema MIO.
Fuente: Metro Cali S. A. (2016)

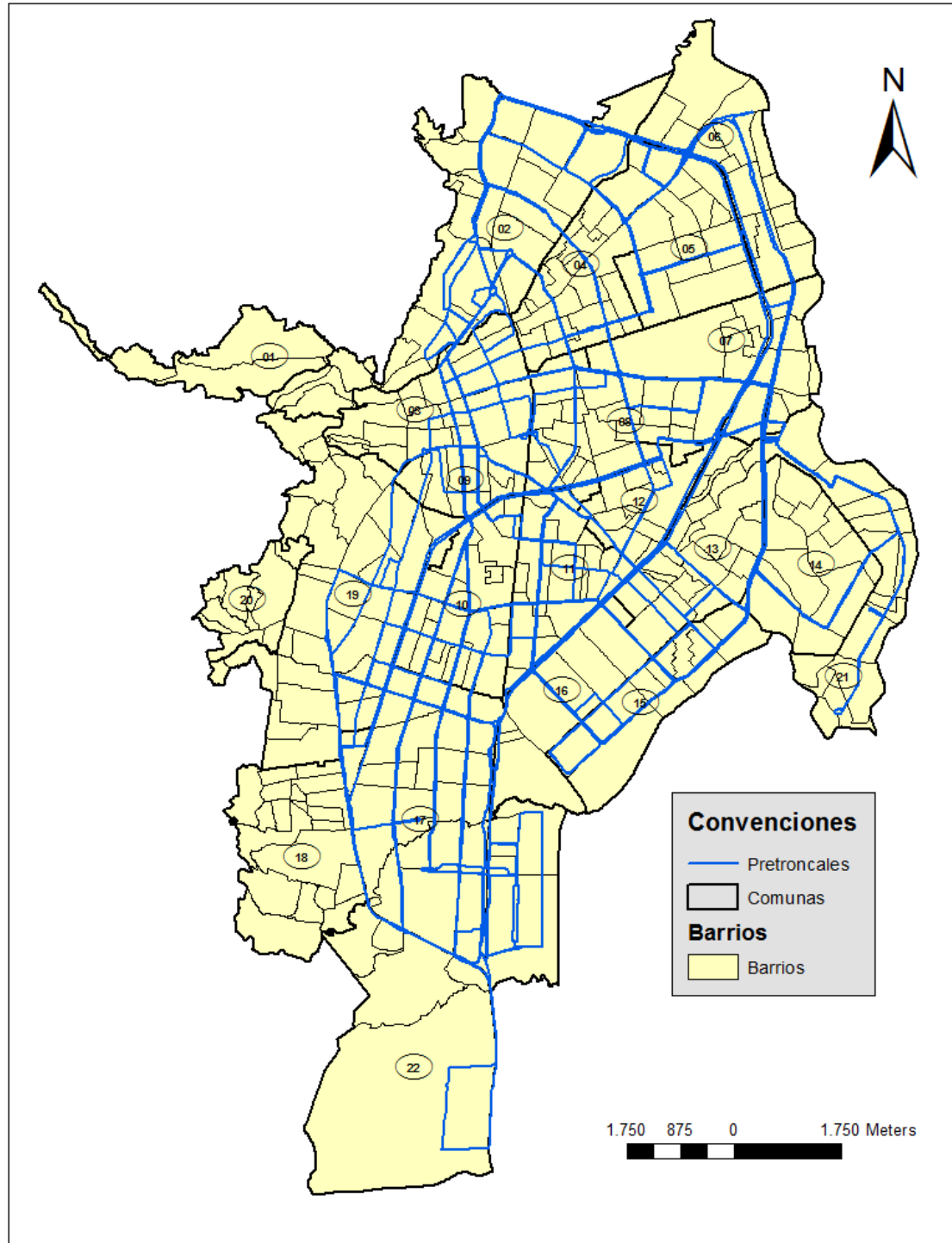


Figura 17. Rutas pretroncales del sistema MIO.
Fuente: Metro Cali S. A. (2016)

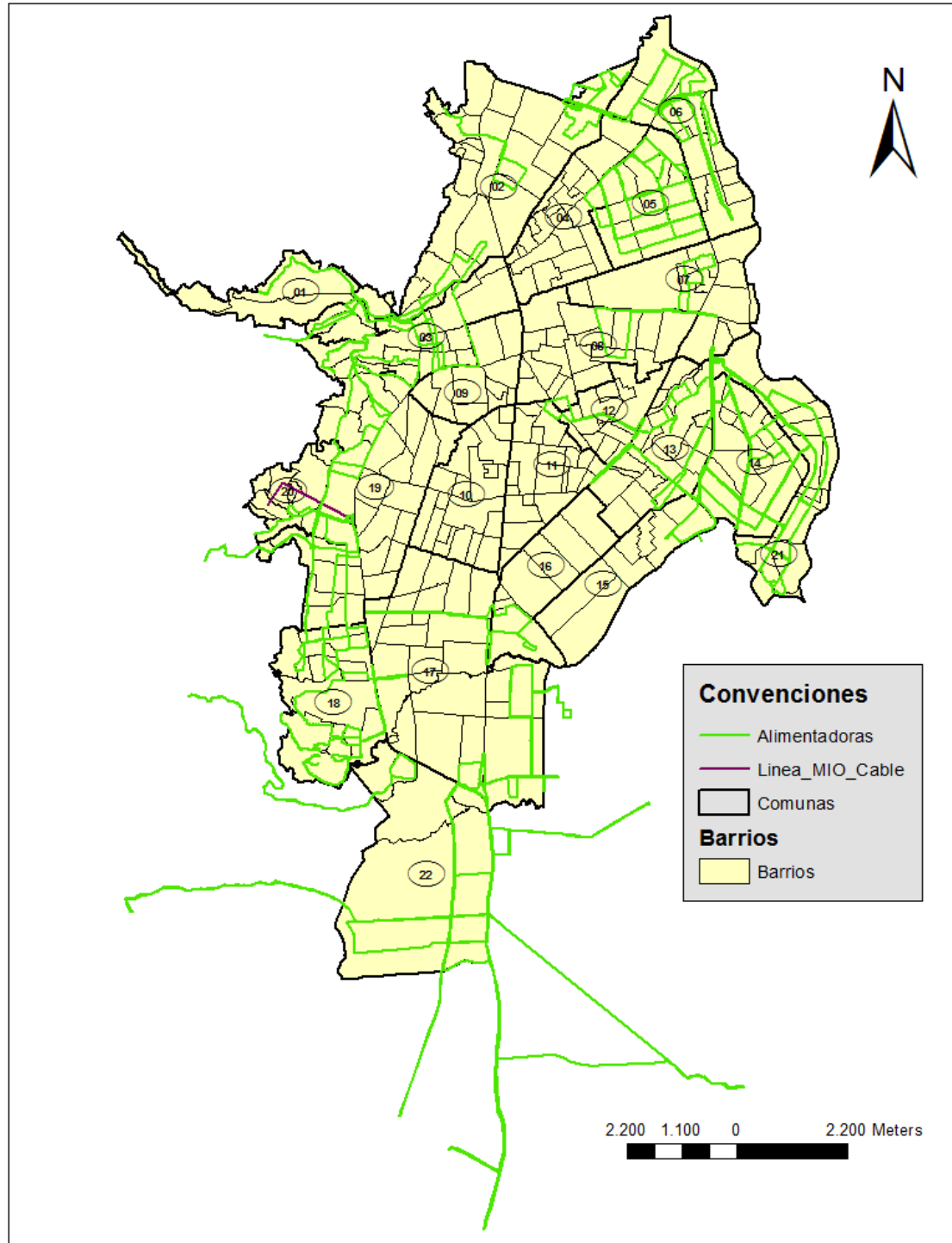


Figura 18. Rutas alimentadoras del sistema MIO y línea del MIO Cable.
Fuente: Metro Cali S. A. (2016)

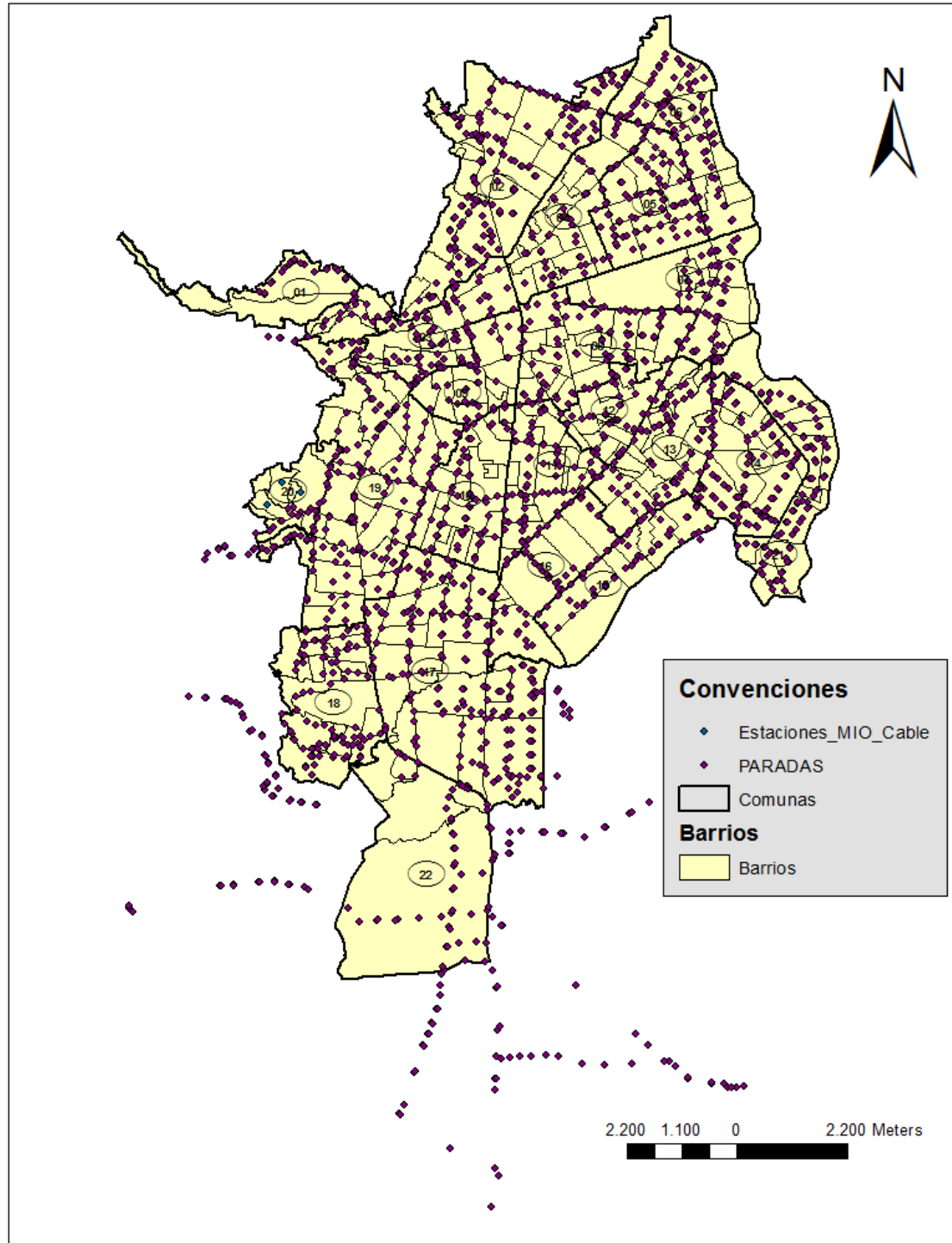


Figura 19. Puntos de parada del sistema MIO y MIO Cable.
Fuente: Metro Cali S. A. (2016)

4.4. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE INDICADORES

Entendido el comportamiento de la distribución poblacional en el territorio de Santiago de Cali según al análisis realizado en la primera fase de caracterización del proyecto, es necesario generar una evaluación a la relación que hace el sistema MIO con los habitantes por medio de herramientas universales como los indicadores de accesibilidad. Estos indicadores califican la calidad en accesibilidad de los sistemas de transporte con interpretaciones matemáticas de los datos obtenidos de la correlación entre sistema y población. Sin embargo, existen en la literatura gran cantidad de indicadores que según la ponderación que se quiera hacer son de mayor utilidad que otros.

Por esta razón se hizo una recopilación de los indicadores de accesibilidad con mayor relación e incidencia en el proyecto, con el fin de seleccionar aquellos con mayor aporte a la evaluación de la accesibilidad que el sistema MIO ofrece a los habitantes de Cali. A continuación se presentan los indicadores de accesibilidad más pertinentes, teniendo en cuenta su relación con el proyecto.

La demanda de movilidad generada por la población en el territorio de Santiago de Cali se puede estudiar de forma localizada para cada uno de los barrios que conforman la zona de estudio, con el fin de hacer una evaluación más específica a la accesibilidad que el SITM MIO ofrece a sus usuarios. En este indicador la demanda será reflejada por la cantidad de habitantes en cada barrio, y la oferta del servicio será evidenciada en la longitud de malla vial dispuesta para el tránsito de los buses del MIO. La relación entre la oferta y la demanda será el análisis que el indicador de densidad usará para evaluar la calidad del servicio prestado. Es por esta relación entre población e infraestructura de transporte que se ha seleccionado este indicador como herramienta pertinente en el proyecto.

4.4.1. INDICADOR DE DENSIDAD (Izquierdo, R. (1994))

Se entiende como la medida de la densidad de infraestructuras de comunicación de una zona (km/km^2), el cual puede tener muchas variaciones según la ponderación que se haga de las vías o servicio de distinta categoría. El índice de densidad (D) se puede obtener a partir de la siguiente ecuación:

$$D = \frac{\text{km de red}}{\text{Área zona de estudio}} \left(\frac{\text{km}}{\text{km}^2} \right) \quad (\text{Ec. 3})$$

Adicionalmente, con base en este indicador se decidió introducir una ponderación con la finalidad de considerar variables relacionadas con la oferta del servicio, como la cantidad de servicios ofrecidos (número de rutas) sobre las vías de cada barrio

de la ciudad y la capacidad de los vehículos que prestan servicio en estas rutas. Esta densidad ponderada se planteó mediante la siguiente ecuación:

$$DPond = \frac{km\ corredor * Total\ rutas\ en\ el\ corredor * C}{Área\ barrio} \quad (Ec. 4)$$

El factor C en la ecuación anterior se tomó como la capacidad del mayor vehículo que sirva la zona de estudio, dependiendo del tipo de corredores y rutas que presten servicio en el sector.

Tabla 13. Valores de C según tipología de vehículo.
Fuente: Metro Cali S.A. (2016)

TIPOLOGÍA	C
Articulado	160
Padrón	80
Complementario	51

Con esta ponderación es posible realizar comparaciones con respecto a la densidad absoluta para cada zona de estudio. De igual forma, para el cálculo de densidad absoluta y densidad ponderada se consideraron los límites administrativos de los barrios como condiciones de frontera para realizar la asignación de rutas a cada uno. En ambos casos se optó por seguir estos límites y tomar para cada sector las rutas que transitan dentro de su jurisdicción.

4.4.2. INDICADOR ABSOLUTO DE TIEMPO GLOBAL (Sarmiento, I., Muñoz, J. Y Ángel, C. (2000))

Es un indicador que mide la suma de tiempos de desplazamiento desde un punto a todos los demás. El punto de menor sumatoria de tiempo es el mejor comunicado. Este indicador tiende a favorecer los puntos ubicados hacia el centro de una red por su localización geográfica, dado que los tiempos de viaje desde estos nodos hasta los otros son menores.

$$T_i = \sum_{j=i}^n t_{ij} \quad (Ec. 5)$$

Donde:

t_{ij} = Tiempo mínimo de recorrido de i a j utilizando la red

El cálculo de este indicador se llevó a cabo mediante la extensión *Network Analyst* del programa ArcGis, simulando la matriz origen-destino de tiempos mínimos entre centroides de barrios por medio de la red del sistema de transporte masivo para

todos los barrios de Cali. Al realizar la sumatoria de tiempos para cada centroide, se obtiene un vector de tiempos de viaje (Escobar García, D. y García Orozco, F., 2012). Los resultados obtenidos fueron representados mediante curvas de tiempos iguales, o isócronas.

4.4.3. INDICADOR DE HANSEN (Hansen, W.G. (1959))

Para evaluar la atracción de la población para una zona, Hansen consideró la cantidad de áreas disponibles para el desarrollo, y propuso la combinación del índice de accesibilidad con la disponibilidad de áreas para determinar el potencial de desarrollo de una región. Este potencial es definido como el producto del valor de accesibilidad integral por el área disponible de la manera siguiente:

$$A_i = \sum_{j=1}^n A_{ij} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$A_{ij} = \frac{E_j}{d_{ij}^b} \quad (\text{Ec. 7})$$

Siendo:

A_{ij} = Nivel de accesibilidad de la zona i respecto a la zona j
 E_j = Total de empleos en la zona
 d_{ij} = Distancia entre las zonas i y j
 n = Número de zonas del área de estudio
 b = Parámetro de calibración

Para este indicador, se optó por tomar el término d_{ij} como el tiempo en minutos entre centroides, el cual se obtuvo del análisis del indicador inmediatamente anterior, dado que tanto el tiempo como la distancia son factores de impedancia para los viajes. De igual forma, se tomó el parámetro de calibración b como 1, dado que su imprecisión se incrementa en la medida en que este valor sea mayor.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Después de realizar la caracterización de la zona de estudio y de las rutas actualmente ofrecidas por el sistema de transporte masivo MIO y de seleccionar los indicadores apropiados para realizar la evaluación de las condiciones de calidad del servicio en función de la accesibilidad, se realizó la aplicación de los indicadores de densidad, tanto absoluta como ponderada, tiempo global e indicador de Hansen. Los resultados de accesibilidad obtenidos, para los tres indicadores analizados, se expresaron en cinco categorías:

- Muy baja
- Baja
- Media
- Alta
- Muy alta

Las categorías anteriores permitirán entonces determinar la calidad del servicio por sectores de la ciudad y, por ende, identificar los barrios con condiciones tanto favorables como desfavorables.

5.1. INDICADOR DE DENSIDAD

Los resultados de accesibilidad para densidad absoluta y densidad ponderada para cada barrio de la ciudad de Cali se ilustran a continuación en las Figuras 20 y 21:

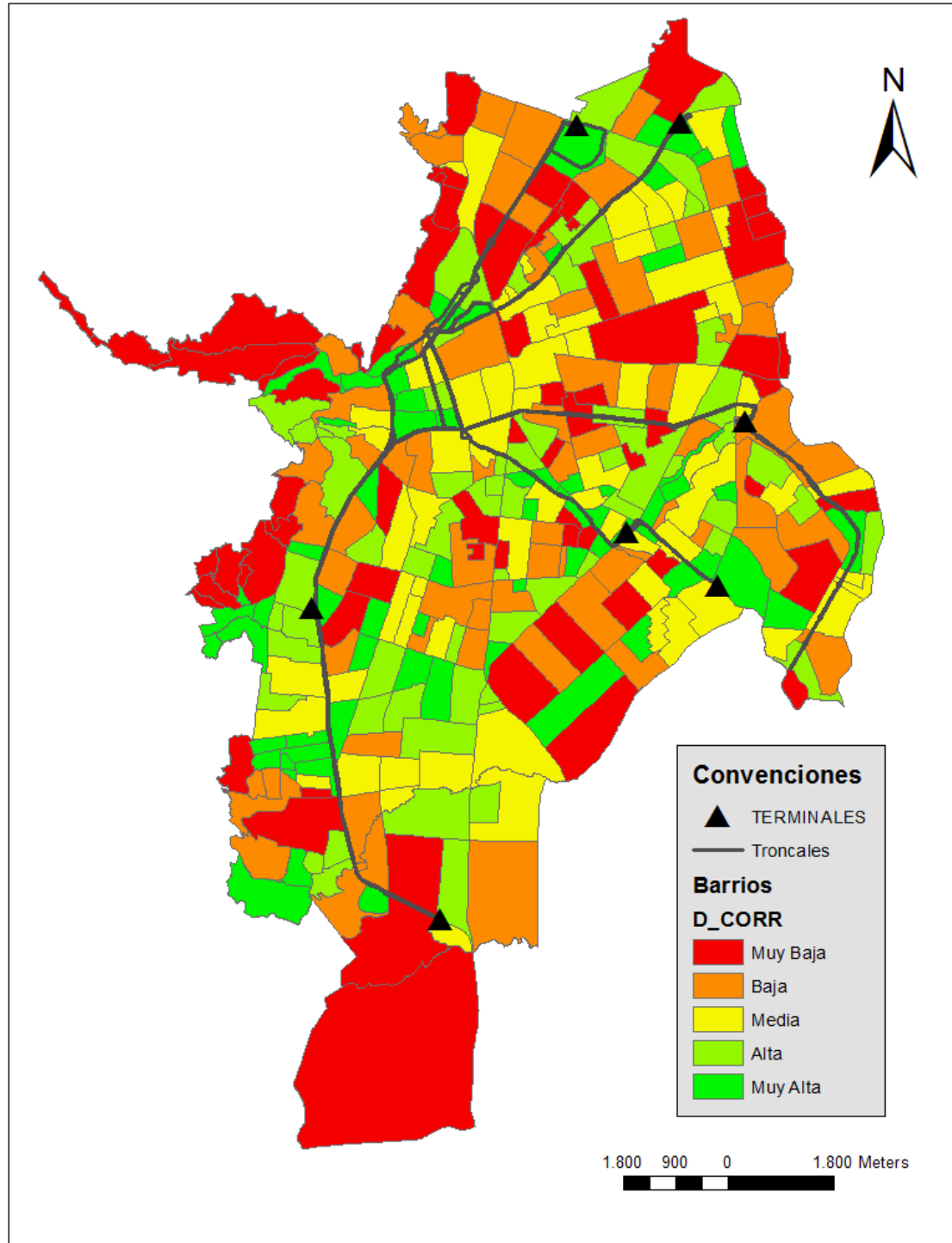


Figura 20. Niveles de accesibilidad para la zona urbana de Cali por indicador de densidad absoluta (caso A).
Fuente: Elaboración propia (2017).

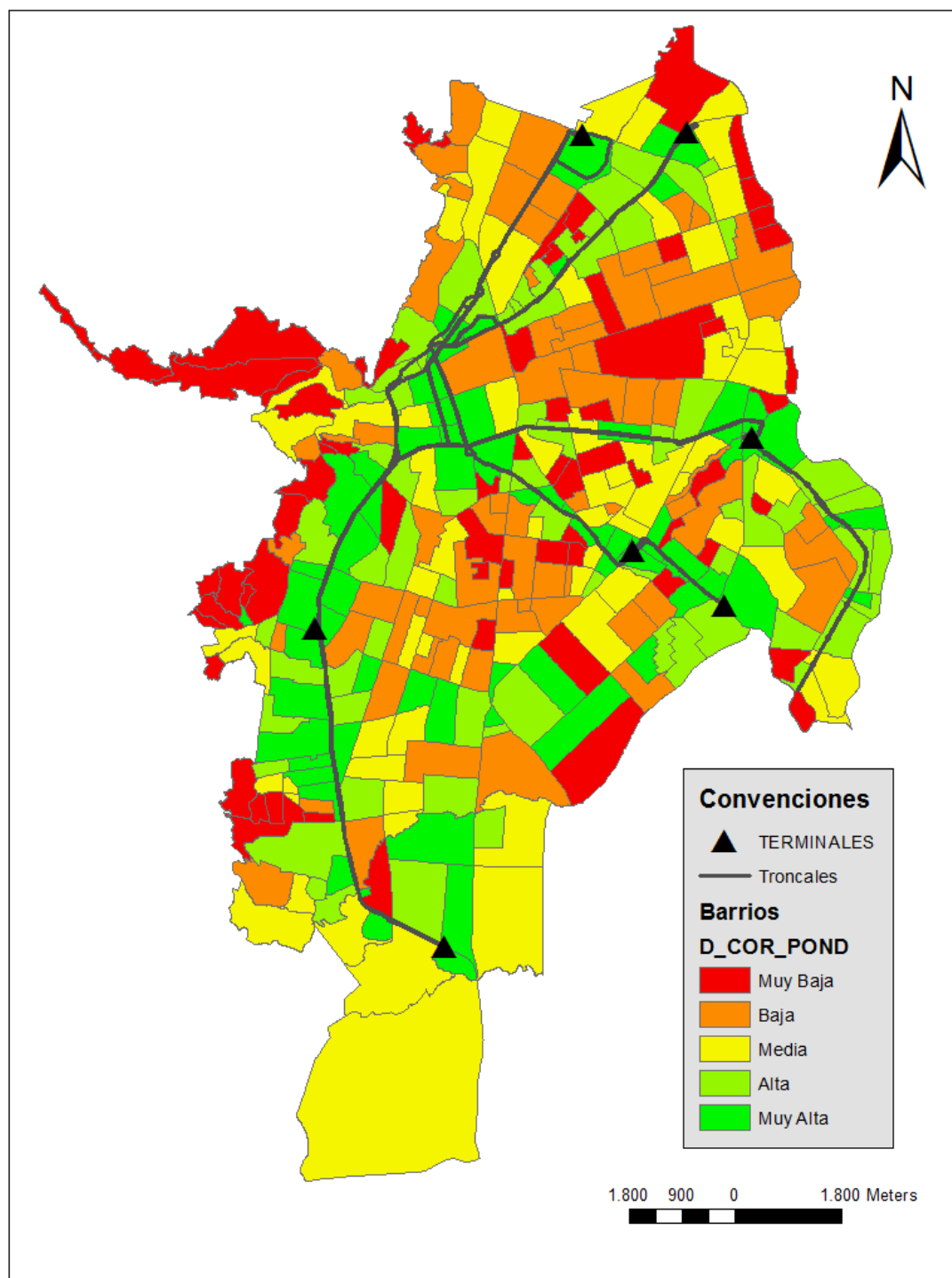


Figura 21. Niveles de accesibilidad para la zona urbana de Cali por indicador de densidad ponderada (caso B).
Fuente: Elaboración propia (2017).

Con base en lo observado en las figuras 20 y 21 se pueden realizar las siguientes observaciones:

- En el caso de densidad absoluta (caso A), considerando únicamente el corredor vial por donde se presta el servicio sin tener en cuenta las tipologías y rutas que transitan por el mismo, se encuentra que los sectores con los mayores niveles de accesibilidad están repartidos en varios puntos de la zona urbana. Sin embargo, hacia la zona céntrica de la ciudad se observan altos valores de accesibilidad, con algunos barrios periféricos al norte, sur y occidente teniendo los menores valores. Para esta variante del indicador, la longitud de las vías atendidas por el sistema y el área de cada uno de los barrios ejercen una gran influencia en los resultados.
- Al considerar las tipologías de servicio del SITM (caso B) para el cálculo de densidad, se encuentra que los barrios con la accesibilidad más alta son aquellos alrededor en la zona de influencia de la Terminal Calipso, lo cual incide directamente en este hecho al tener la posibilidad de acceder a una mayor cantidad de servicios. Esto también se cumple para San Pedro, El Calvario y San Pascual, barrios atravesados por la troncal Centro (Calles 13 y 15), en la cual se concentran la mayor cantidad de servicios ofrecidos por el SITM-MIO.
- A diferencia del caso A, para el cual no se observan muchas zonas agrupando barrios de altos niveles de accesibilidad, en el caso B se observa que los barrios cercanos a los corredores troncales y estaciones terminales del sistema cuentan con niveles de accesibilidad mayores que los barrios más alejados de las troncales. Esto es debido a que las troncales son atendidas por vehículos con una mayor capacidad (articulados) y en algunos casos por vehículos padrones atendiendo rutas pretroncales, por lo que los usuarios residentes en estos sectores cuentan con una oferta de servicio mayor tanto en número de rutas como en capacidad y esto genera que en estos barrios existan mayores facilidades para acceder y utilizar el servicio.
- Igualmente, al comparar los resultados para densidad absoluta con los obtenidos para densidad ponderada, se encuentra que en el último caso los valores de accesibilidad aumentan en la gran mayoría de sectores de la ciudad. Se observa de esta forma la influencia de la ponderación aplicada, ya que la mayor parte de los barrios son atendidos por rutas pretroncales y alimentadoras, las cuales operan con buses de menor capacidad, variable de la cual depende directamente la ponderación.

5.2. INDICADOR DE TIEMPO GLOBAL

Los resultados de accesibilidad obtenidos mediante este indicador se ilustran a continuación en las Figuras 22 y 23:

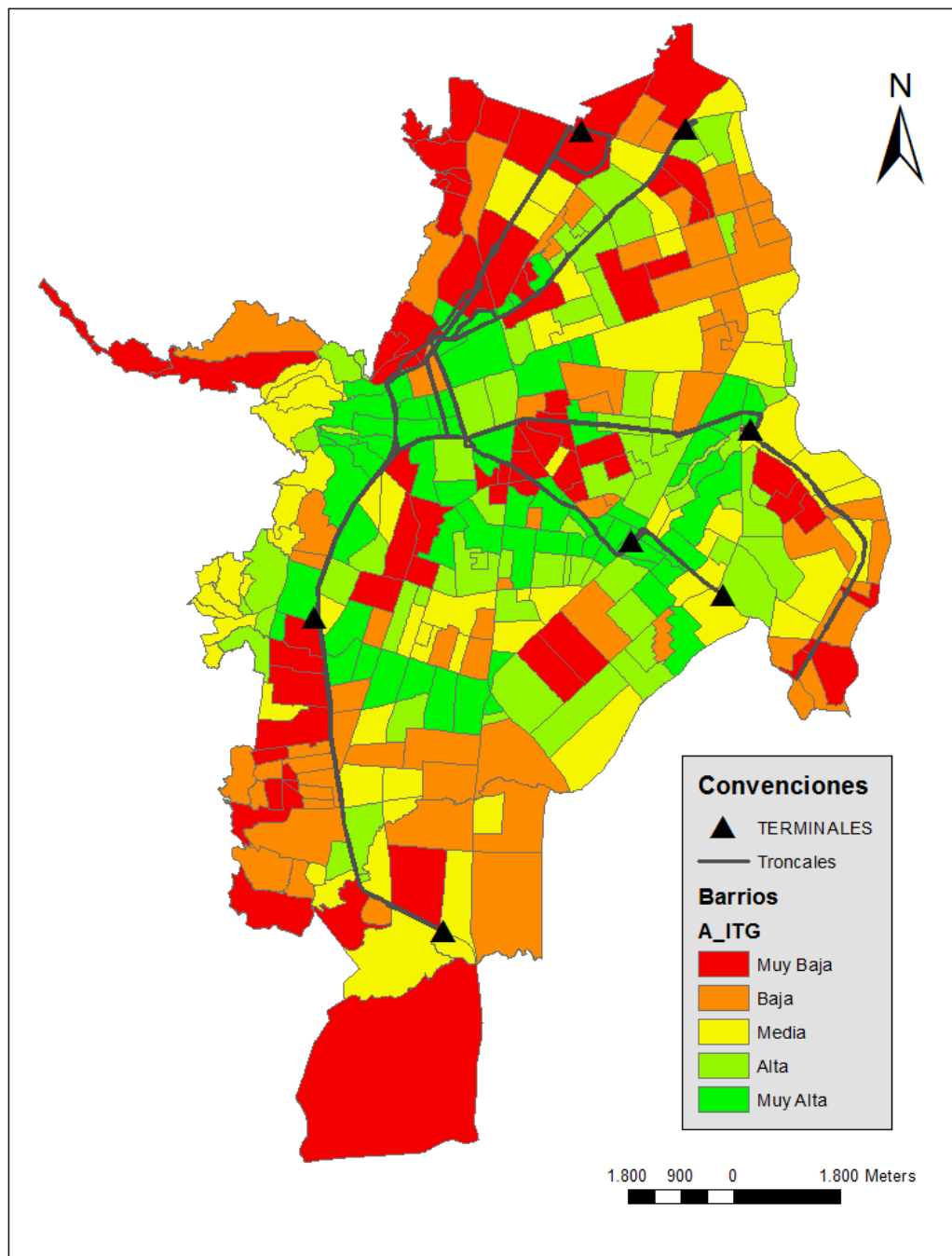


Figura 22. Niveles de accesibilidad para la zona urbana de Cali por indicador de tiempo global. Fuente: Elaboración propia (2017).

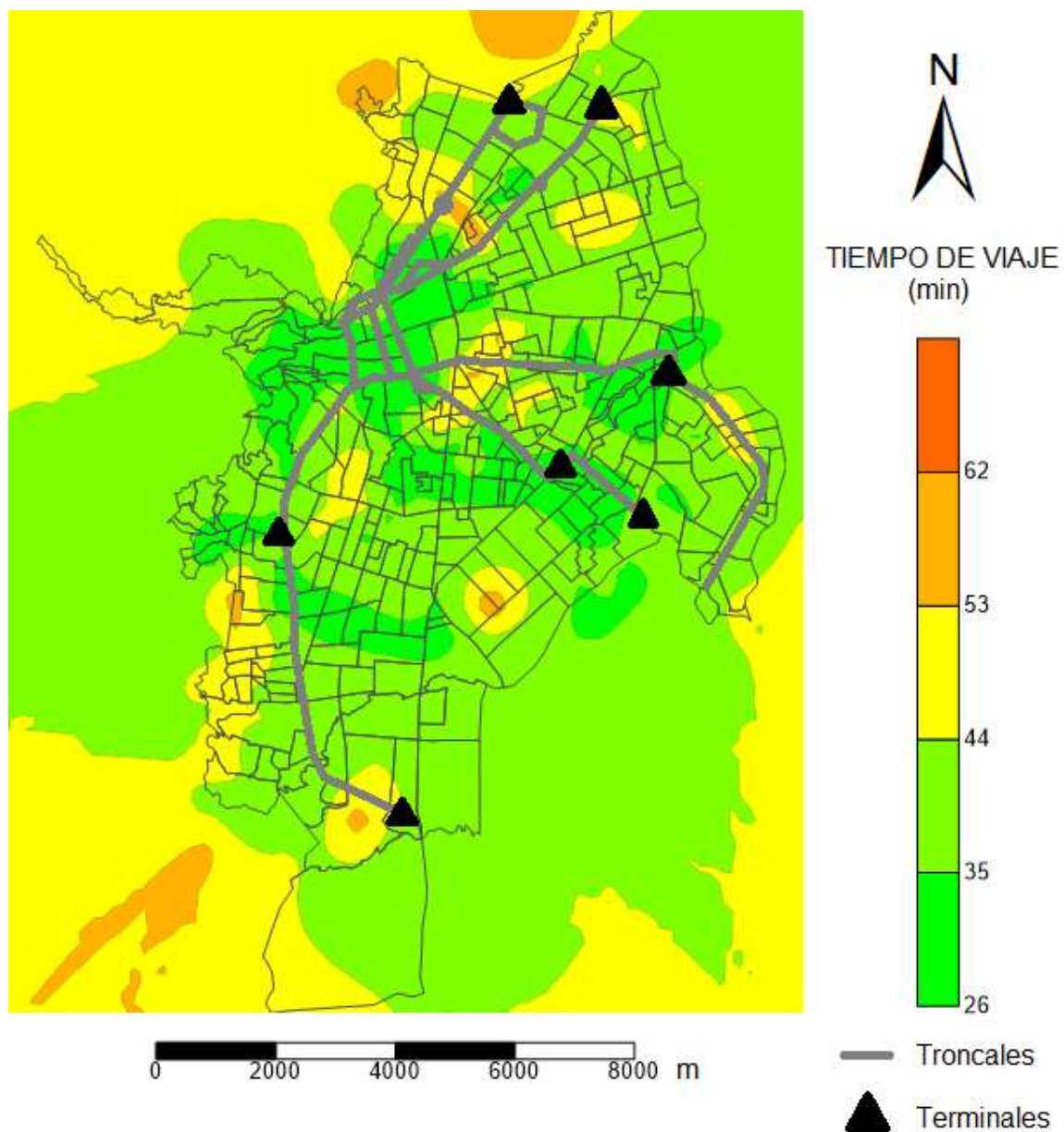


Figura 23. Curvas isócronas para la zona urbana de Cali.
Fuente: Elaboración propia (2017).

Con base en las figuras 22 y 23, se pueden realizar las siguientes observaciones:

- Los sectores con menor sumatoria de tiempos de desplazamiento y por ende, mayores niveles de accesibilidad, se ubican principalmente en el centro de la ciudad y alrededor de los corredores troncales de la Carrera 1 al norte, la Troncal de Aguablanca en el oriente y el tramo norte de la Calle 5. Los barrios ubicados alrededor de la Avenida Guadalupe hacia el sur cuentan igualmente

con muy altos valores de accesibilidad. Esto es consecuente con la teoría para este indicador, siendo las zonas centrales de la red aquellas con mejores resultados. De igual manera, los barrios cercanos a las troncales cuentan con la ventaja que en estos corredores dadas sus características, se dan las mayores velocidades de tránsito, lo que deriva en menores tiempos de desplazamiento.

- Los barrios con mayores dificultades son aquellos ubicados en los extremos de la ciudad, principalmente hacia el norte y sur de la ciudad y el extremo oriente. Estos sitios, siendo los puntos más remotos, están más alejados de los barrios restantes de la ciudad y sus habitantes requieren hacer uso de rutas alimentadoras para acceder a los corredores troncales, por ende, presentan tiempos más altos de desplazamiento con respecto a los barrios ubicados hacia el centro, que están más concentrados y cercanos entre sí.
- Siguiendo con lo anterior, también se presentan casos de barrios que a pesar de no estar localizados en los puntos extremos de la ciudad cuentan con altos tiempos de viaje, lo que se puede observar en la figura 23 donde se presentan puntos con tiempos de viaje altos. Esta situación se debe a la estructura de la red de transporte, que en varios casos no permite rápidas integraciones entre corredores y rutas del sistema. De igual manera, algunas rutas alimentadoras deben recorrer una distancia larga desde algunos barrios hacia sus estaciones de integración con el resto del sistema, lo que incide directamente en el incremento de los tiempos en estas zonas.
- En la zona de ladera, la cual es importante tener en cuenta dada la dificultad existente para ofrecer el servicio en esos sectores, se aprecia que los barrios de la comuna 20 cuentan con valores de accesibilidad altos, en contraste con las comunas 1, 18 y el barrio de Altos de Menga en la comuna 2, donde se observan valores de accesibilidad entre medios y muy bajos. Lo anterior se debe a que en la zona de Siloé existe una mayor oferta del servicio (rutas alimentadoras y sistema MIO Cable) y una mayor cercanía con una terminal donde los usuarios pueden integrarse con el resto del sistema para acceder a sus destinos, lo cual influye en los tiempos de desplazamiento haciendo que estos sean considerablemente menores.

5.3. INDICADOR DE HANSEN

Los resultados de accesibilidad obtenidos para cada barrio de la ciudad de Cali mediante el indicador de Hansen se ilustran a continuación en las Figuras 24 y 25:

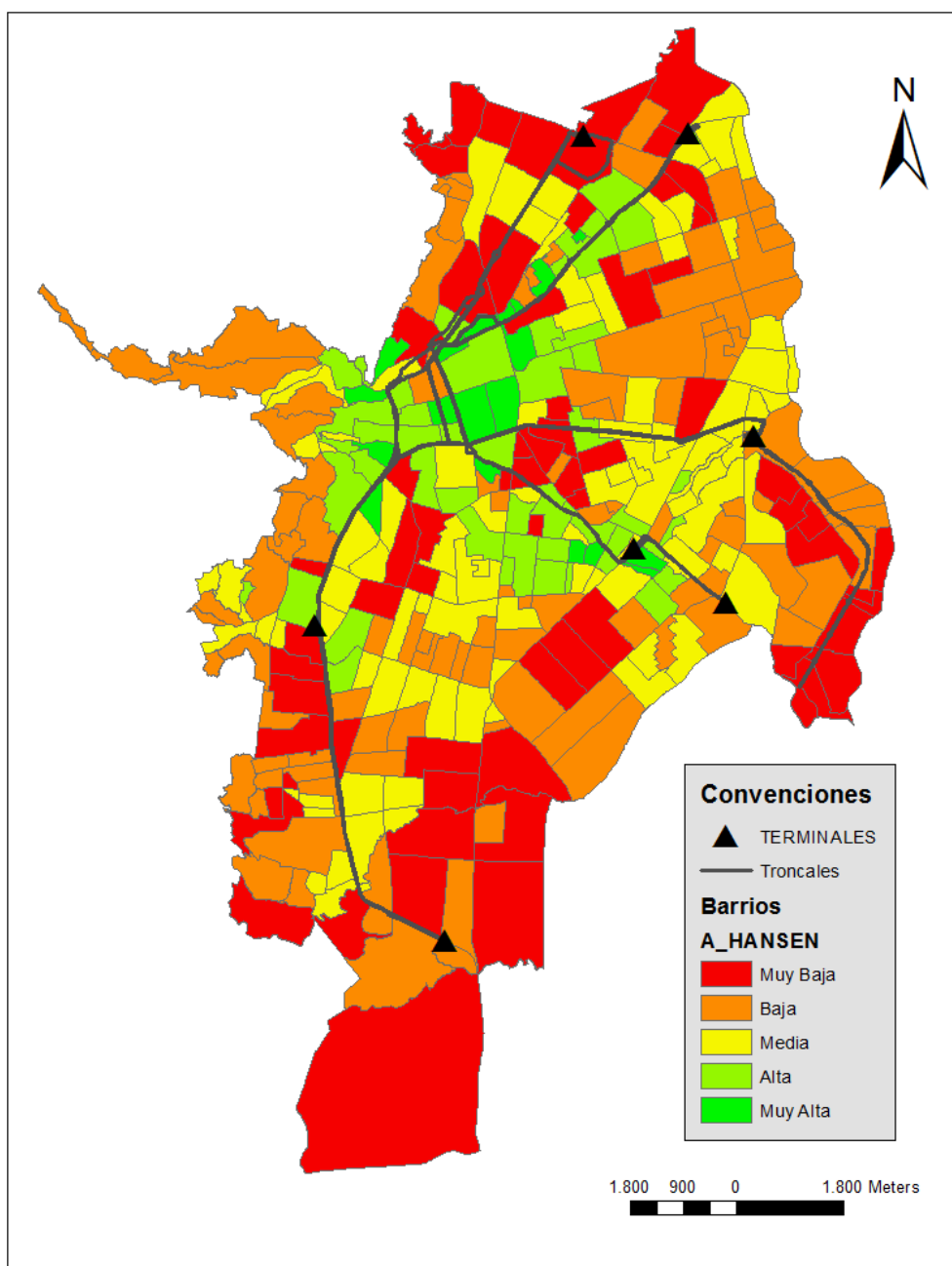


Figura 24. Niveles de accesibilidad para la zona urbana de Cali por indicador de Hansen (polígonos).

Fuente: Elaboración propia (2017).

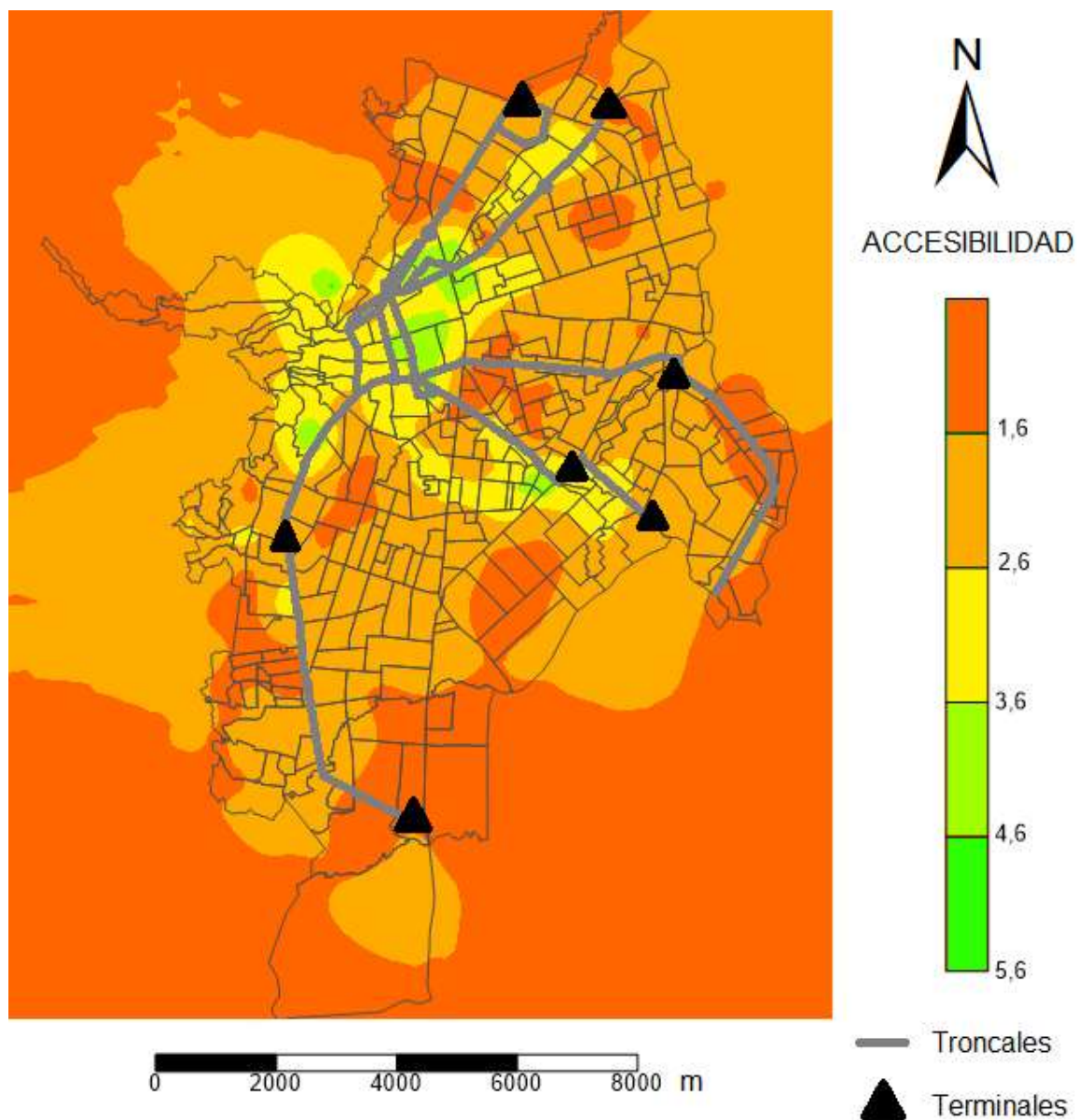


Figura 25. Niveles de accesibilidad para la zona urbana de Cali por indicador de Hansen (superficie).

Fuente: Elaboración propia (2017).

Con base en las figuras 24 y 25, se pueden realizar las siguientes observaciones:

- Los sectores con mejores posibilidades de acceso a oportunidades (expresadas en términos de empleo) mediante el SITM-MIO, y con mejores indicadores de accesibilidad se encuentran hacia el centro de la ciudad, en los barrios El Calvario, Sucre, Obrero, El Hoyo, El Piloto, en la zona noroeste (barrios El Peñón, Juanambú y Normandía), alrededor de la calle 5 (San

Antonio), el corredor de la carrera 29 desde Santa Elena hacia el oriente y la troncal de la carrera 1 hacia el norte.

- Al igual que como se presentó con el indicador de tiempo global, los barrios con menores indicadores de accesibilidad fueron los ubicados hacia los extremos de la ciudad, particularmente hacia el norte, oriente (distrito de Aguablanca) y sur (sector de Ciudad Jardín y Pance). Esto se debe a que el tiempo de desplazamiento ejerce una gran influencia en la posibilidad de acceso a las oportunidades por parte de los usuarios, las cuales en este caso fueron los empleos. Para estos sitios remotos, los tiempos son efectivamente mayores, por ende, hay mayores dificultades en el acceso a las oportunidades para sus residentes.
- Al realizar la comparación entre los resultados obtenidos mediante el indicador de tiempo global y el indicador de Hansen para el análisis mediante polígonos, se encuentra que los niveles de accesibilidad disminuyen para la mayoría de barrios de la ciudad. Lo anterior se debe a que para el cálculo del indicador de Hansen se considera, además del tiempo de viaje, la atraktividad de cada punto de destino, expresada en términos de la densidad de empleos de cada barrio, mientras que para el indicador de tiempo global solamente se está considerando el tiempo de viaje del usuario independientemente del motivo de tal viaje.

Buscando analizar los resultados de estos indicadores de acuerdo al estrato socioeconómico de cada barrio, se realizó el cálculo de los valores promedio de estos para el consolidado de los diferentes estratos socioeconómicos de la ciudad, los resultados obtenidos se muestran en las figuras 26 y 27:

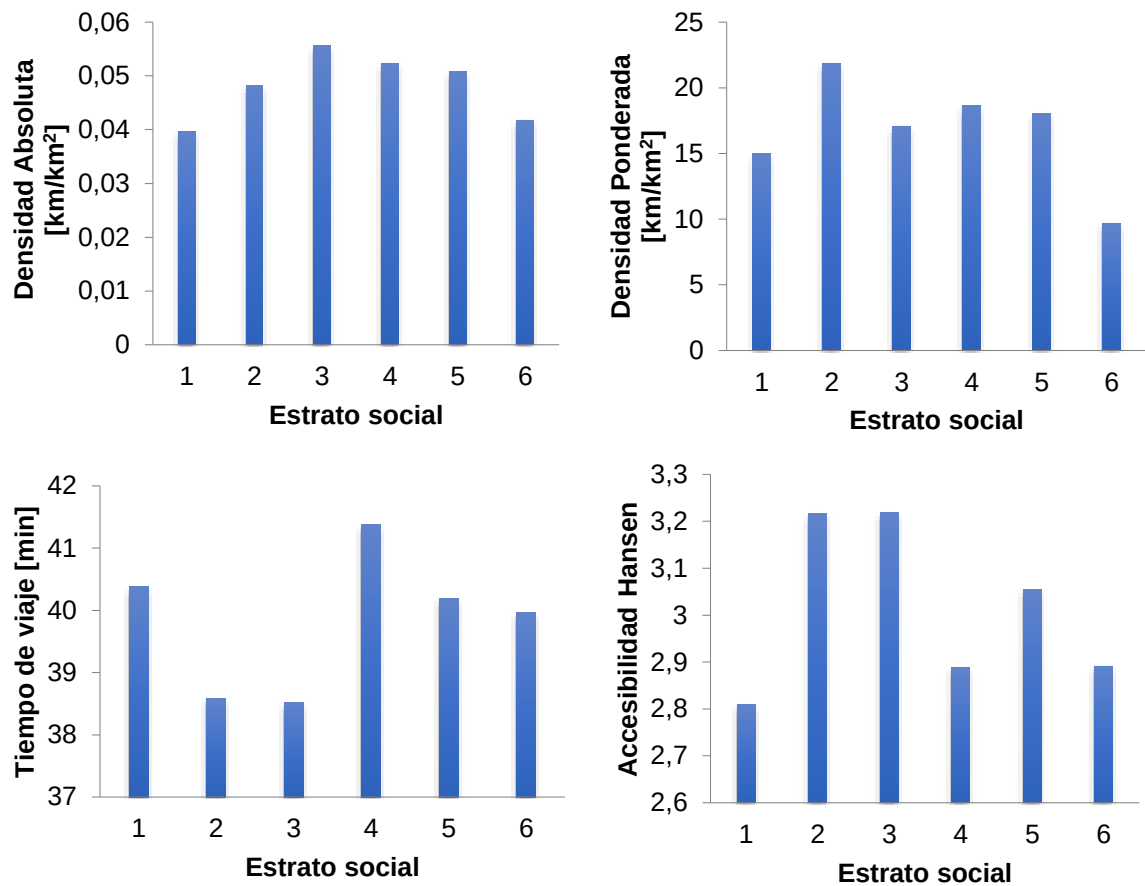


Figura 26. Histogramas de densidad (absoluta y ponderada), tiempo de viaje y accesibilidad por Hansen promedio por estrato socioeconómico.

Fuente: Elaboración propia (2017).

Estos resultados reflejan que en general los barrios catalogados dentro de los estratos 2, 3 y 4 son los que presentan resultados más favorables en cuanto a calidad de servicio del sistema MIO en su territorio, abarcando estos el 70% de la población urbana de Cali, como lo muestra el indicador de densidad, asimismo estos sectores tienen una mayor disponibilidad de rutas (troncales, pretroncales y alimentadores) para la movilidad de los usuarios. Estas condiciones inciden en la mayor accesibilidad que tienen los barrios de estrato bajo y medio-bajo para movilizar a sus habitantes hacia el resto de la ciudad, como lo resume el indicador de tiempo global. El indicador de Hansen también coloca a los barrios en estos estratos como aquellos con las mayores posibilidades de acceso a oportunidades de empleo en la ciudad.

Por otro lado, los barrios de estrato 1, que alcanzan a reunir aproximadamente el 19% de la población de la ciudad son los que presentan resultados desfavorables

para los indicadores evaluados, en donde tanto la distribución de la malla vial del MIO, la disposición de diferentes rutas, los tiempos de viaje a todos los demás destinos y las posibilidades de acceso a empleos es de bajo nivel mediante el uso del sistema. Aunque la infraestructura vial del sistema se encuentre repartida en un gran porcentaje del territorio y abarque la totalidad del mismo, estos indicadores reflejan una falla en el servicio a la hora de satisfacer las demandas de movilidad que tienen los usuarios que habitan estos barrios. Es de notar también que los barrios del estrato más alto (6) cuentan con bajos índices de accesibilidad, sin embargo, estos son en su mayoría sectores de gran extensión territorial y baja densidad poblacional, en los cuales la cobertura espacial del servicio se adecúa a estas condiciones. También se debe tener en cuenta que en estas zonas generalmente existe un predominio en el uso del vehículo particular sobre el transporte público, por lo que el enfoque de la prestación del servicio no está necesariamente orientado a estos lugares.

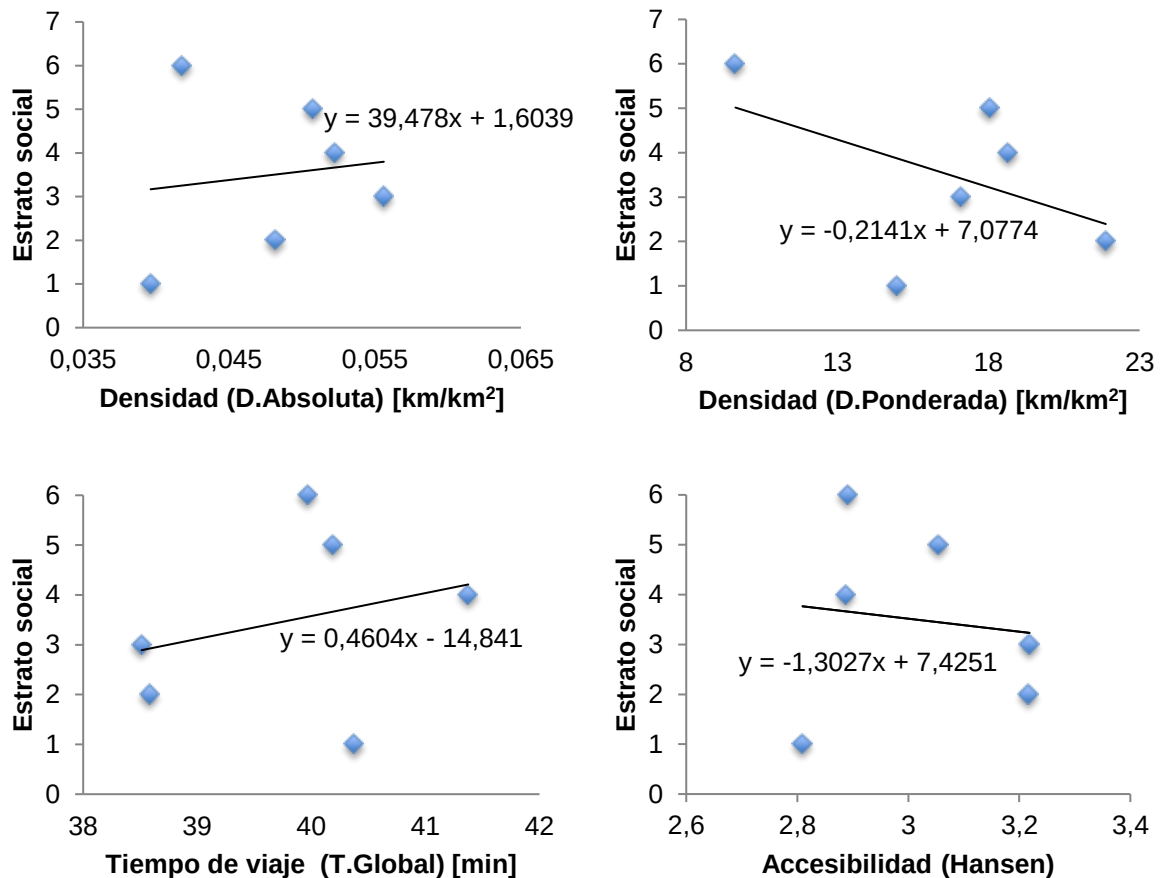


Figura 27. Diagramas de dispersión de densidad (absoluta y ponderada), tiempo de viaje y accesibilidad por Hansen promedio por estrato socioeconómico.
Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Figura 27 se evidencia la relación entre los estratos socioeconómicos presentes en la ciudad y sus valores promedio de accesibilidad, la cual muestra un comportamiento creciente o decreciente que puede ser favorable o desfavorable según la teoría del indicador con que se evalúe. La información encontrada por cada indicador es la siguiente:

Indicador de densidad absoluta: Tiene una tendencia creciente y favorable hacia los estratos altos de la ciudad, en donde la cantidad de malla vial encontrada en el área de los barrios pertenecientes a estratos más altos es mayor.

Indicador de densidad ponderada: Tiene una tendencia decreciente y desfavorable hacia los estratos altos de la ciudad, en donde la cantidad de rutas y capacidad del sistema es mayor para los barrios pertenecientes a estratos más bajos.

Indicador de tiempo global: Tiene una tendencia creciente y desfavorable hacia los estratos altos de la ciudad, en donde los tiempos de viaje son más cortos para los barrios pertenecientes a estratos más bajos, otorgándoles mejores condiciones de accesibilidad.

Indicador de Hansen: Tiene un comportamiento decreciente y desfavorable hacia los estratos bajos de la ciudad, para los cuales las posibilidades de acceso a oportunidades de empleo son menores.

Los resultados obtenidos para los indicadores considerados se corresponden con los conceptos teóricos de los mismos, como se pudo apreciar con lo obtenido mediante el indicador de tiempo global, el cual como se planteó por Sarmiento et al (2000), tiende a favorecer los puntos ubicados hacia el centro de una red. En este caso, los sectores con menores valores de tiempos y, por ende, una mejor calidad fueron aquellos ubicados en las cercanías del centro, en detrimento de las zonas periféricas que obtuvieron los mayores tiempos, con lo que el postulado teórico del indicador de tiempo global se confirmó en el análisis realizado. De igual manera, se encontró que los sectores aledaños a los corredores troncales o vías con alta oferta de servicios, principalmente rutas pretroncales, poseen valores de accesibilidad altos, y por ende una buena calidad de servicio, con lo que los hallazgos de este estudio son congruentes con respecto a los resultados obtenidos previamente por Jaramillo et al (2012), donde se encontraron ventajas hacia la zona centro y las zonas aledañas a los corredores troncales, y deficiencias en el oriente de la ciudad y la zona de ladera en el oeste, y por Parra Reyes (2014). Se debe hacer la salvedad de que en este último estudio únicamente se consideró un destino: la Universidad del Valle, mientras que para este caso se tomó el conjunto total de barrios de la zona urbana como orígenes y destinos, por lo que los niveles de accesibilidad obtenidos pueden diferir en varios polígonos entre estudios.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la planeación y gestión de sistemas de transporte masivo para ciudades como Santiago de Cali el cálculo y análisis de indicadores de accesibilidad se constituye como una herramienta útil, puesto que estos permiten comprender la relación entre las características espaciales del territorio como localización y área del territorio así como también socioculturales y económicas, y las infraestructuras de transporte, al igual que evaluar los efectos de la implementación de redes de transporte en el territorio, identificando puntos con mayores y menores posibilidades de movilidad con el fin que los planificadores encargados tomen las decisiones pertinentes que faciliten la implementación de alternativas para avanzar hacia una situación de equilibrio para todo el espacio geográfico.

De igual manera, la utilización de sistemas de información geográfica (SIGs) permite disponer de una herramienta importante en la planeación de sistemas de transporte masivo, dado que no solo facilita la referenciación geográfica y espacial de la red de transporte, sino que también ofrece la posibilidad de relacionarla con información inherente al territorio. Estos sistemas facilitan la construcción de modelos que permiten simular y evaluar posibles actuaciones sobre las redes de transporte y sus impactos en el territorio, con lo cual se tiene un soporte fuerte en la toma de decisiones para la planificación y gestión de redes e infraestructura de transporte.

En términos generales, los resultados obtenidos mediante los índices calculados permiten inferir que el sistema de transporte masivo MÍO favorece las condiciones de accesibilidad para la mayor parte de la zona urbana de Cali. Las zonas con mayores ventajas en el servicio y mejores condiciones de calidad fueron el centro y zonas cercanas a los corredores troncales de la carrera 1, calle 5 y Troncal de Aguablanca, en el norte, sur y oriente, respectivamente. En contraste, los puntos extremos de la ciudad, donde se encuentra una gran concentración de población, presentan las mayores dificultades en cuanto al servicio y, por lo tanto, deficiencias en lo concerniente a la calidad.

En cuanto a cobertura territorial, se encontró que el SITM permite brindar un servicio adecuado para la zona urbana de Cali. Por ende, las dificultades que se presentan en el servicio actualmente no se derivan directamente de la planeación de las rutas y servicios del sistema, sino que allí convergen una serie de factores externos que inciden en estas afectaciones, tales como el estado y disponibilidad de la flota, la competencia con otros modos de transporte por la demanda, las condiciones de la infraestructura vial de la ciudad y los tiempos de expansión y mejoramiento de la infraestructura del sistema.

Dado que los sectores con condiciones de accesibilidad menos favorables son aquellos más densamente poblados y donde se encuentran los habitantes con menores recursos económicos, las acciones de mejora del servicio del SITM deberían ser orientadas prioritariamente a estos barrios. Como alternativas para mejorar los indicadores de accesibilidad en estas zonas se sugieren la incorporación de nuevas rutas en barrios donde actualmente no se tenga una cobertura espacial adecuada del servicio y/o donde las condiciones de topografía e infraestructura lo permitan, rutas alimentadoras “expresas” en sectores de alta densidad poblacional y alejados de los corredores troncales para reducir tiempos de desplazamiento desde estos puntos hacia el resto de la ciudad y, en el largo plazo, la adecuación de nuevos corredores troncales que permitan ofrecer una mayor capacidad de transporte especialmente en la zona oriente de la ciudad.

Como recomendación para estudios posteriores en los que se quiera profundizar sobre el tema, se sugiere explorar otros criterios para abordar las condiciones de frontera para el cálculo de los indicadores e incluir variables que permitan una mayor aproximación al comportamiento real del sistema, tales como la demanda de pasajeros, con el fin de que se puedan obtener resultados más detallados, más confiables y mejor ajustados a las dinámicas de los usuarios, que permitan generar más insumos para la toma de decisiones por parte de los planificadores encargados. Se sugiere asimismo ampliar el área de estudio para incluir la zona rural y los municipios del área metropolitana, toda vez que el sistema también es utilizado por residentes de estas zonas y se busca que el mismo sea un medio para articular e integrar el conjunto de la ciudad región.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, L. J. (2015). ¿Por qué el MIO no logra enamorar a los caleños? Responde el presidente de Metro Cali. En: El País Cali, 19 de julio de 2015. Consultado el 17 de julio de 2017. Disponible en: <http://www.elpais.com.co/cali/por-que-el-mio-no-logra-enamorar-a-los-calenos-responde-el-presidente-de-metro.html>
- Alcaldía de Santiago de Cali (2012). Plan de Desarrollo Municipio de Santiago de Cali 2012-2015 “CaliDA, una ciudad para todos”. Consultado el 10 de febrero de 2017. Disponible en http://www.cali.gov.co/publico2/documentos/2013/Plan_de_desarrollo2012-2015F.pdf
- Alcaldía de Santiago de Cali (2016). Cali en Cifras año 2015. Consultado el 10 de febrero de 2017. Disponible en <https://planeacion.cali.gov.co/caliencifras/Documentos%20pdf/Caliencifras2015.pdf>
- Barcellos, V., Lopes, F. y Goncalves, A. (2000). Propuesta de un Método de Evaluación aplicado a Rio de Janeiro. IV Congreso de Ingeniería de Transporte. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Casas, I. y Cahill Delmelle, E. (2012). *Evaluating the spatial equity of bus rapid transit-based accessibility patterns in a developing country: The case of Cali, Colombia*. En: *Transport Policy*. No. 20.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2016). Encuesta de Transporte Urbano de Pasajeros I Trimestre de 2016. Consultado el 17 de julio de 2017. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/transporte/bol_transp_ltrim16.pdf
- Departamento Nacional de Planeación (2002). Documento Conpes 3166 Sistema Integrado de Transporte Masivo de Pasajeros para Santiago de Cali – Seguimiento.
- Diario Occidente (2014). Transporte informal, un mal que padece Cali. En: Diario Occidente, 3 de agosto de 2014. Consultado el 17 de julio de 2017. Disponible en: <http://occidente.co/transporte-informal-un-mal-que-padece-cali/>

- Diario Occidente (2016). Persisten quejas por mal servicio. En: Diario Occidente, 25 de mayo de 2016. Consultado el 17 de julio de 2017. Disponible en: <http://occidente.co/persisten-quejas-por-mal-servicio/>
- Escobar García, D. y García Orozco, F. (2012). Impacto regional: caso de aplicación de análisis de accesibilidad territorial. *Épsilon*, n. 18, p. 71-86, junio 2012. ISSN 1692-1259. Consultado el 29 de mayo de 2017. Disponible en: <https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ep/article/view/2204>
- Geurs, K. T. y Van Wee, B. (2004). *Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions*. En: *Journal of Transport Geography*. No. 12.
- GIT Masivo S. A. (2013). Nuestra Flota. Consultado el 10 de febrero de 2017. Disponible en <http://gitmasivo.com/web/nuestra-flota/>
- Grupo de Gestión y Tecnología (2006). Asesoría en Operación y Transporte para el Sistema Integrado de Transporte Masivo de Santiago de Cali – MIO.
- Hansen, W.G. (1959). *How accessibility shapes land-use*. En: *Journal of the American Institute of Planners*, No. 25.
- Izquierdo, R. (1994). Transportes. Un enfoque integral. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Jaramillo, C., Lizárraga, C. y Grindlay, A. L. (2012). *Spatial disparity in transport social needs and public transport provision in Santiago de Cali (Colombia)*. En: *Journal of Transport Geography*. No. 24.
- Karou, S. y Hull, A. (2014). *Accessibility modelling: predicting the impact of planned transport infrastructure on accessibility patterns in Edinburgh, UK*. En: *Journal of Transport Geography*. No. 35.
- Metro Cali S. A. (2013), Infraestructura del SITM MIO. Consultado el 10 de febrero de 2017. Disponible en <http://mio.com.co/index.php/en/infraestructura-124.html#i>
- Metro Cali S. A. (2015), MIO Cable. Consultado el 10 de febrero de 2017. Disponible en <http://www.metrocali.gov.co/cms/mio-cable-5/>
- Metro Cali S. A. (2017), Informe de Gestión con relación al Plan de Desarrollo Municipal Vigencia 2016. Consultado el 15 de febrero de 2017. Disponible en <http://www.metrocali.gov.co/cms/assets/image-gallery/Gestion/Informe-de-Gestin-2016.pdf>

- Murillo Hoyos, J. (2007). Análisis de Accesibilidad Vial para el Departamento del Valle del Cauca. Tesis de Pregrado de Ingeniería Civil. Universidad del Valle.
- Parra Reyes, J. (2014). Problemas de accesibilidad con sistemas BRT para una universidad en la periferia. El caso de la Universidad del Valle (Campus Meléndez). Tesis de Pregrado de Ingeniería Civil. Universidad del Valle.
- Potrykowsky, M. y Taylor, Z. (1978). Geografía del Transporte. Barcelona: Editorial Ariel.
- Programa Cali Como Vamos (2015). Informe de Calidad de Vida en Cali, 2014.
- Programa Cali Como Vamos (2016). Informe de Calidad de Vida de Cali 2015: Una mirada a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- Rodrigue, J., Comtois, C. y Slack, B. (2006). *The geography of transport systems*. Nueva York: Routledge.
- Sarmiento, I., Muñoz, J. y Ángel, C. (2000). Análisis de la Accesibilidad en la Región del Occidente Colombiano. IV Congreso de Ingeniería de Transporte. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Zabala, A. y Martínez, C. (2015). Accesibilidad a la oferta turística urbana con un sistema BRT. El caso de Santiago de Cali (Colombia). Tesis de Pregrado de Ingeniería Topográfica. Universidad del Valle.