



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA DE DOCTORADO

PROGRAMA DE DOCTORADO EN INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE Y
TERRITORIO

TESIS DOCTORAL

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE
INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Autora: Alba Cristina Núñez Basantes

Dirigida por: Dr. Tomás Ruiz,

Dra. Rosa Arroyo

Diciembre del 2023

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida como muestra de su infinito amor, por ser el guardián de mis pensamientos y permitirme terminar esta etapa del camino. Sin su apoyo, no estaría escribiendo estas palabras.

A Sebastián, mi hijo, por acompañarme en esta hermosa travesía, con sus palabras de aliento, con su silencio y, sobre todo, con su inmenso amor.

A mis padres, hermanas y sobrinos, quienes fueron parte fundamental de esta aventura doctoral y me ayudaron a transformar la dificultad en una oportunidad.

A mis mentores, Tomás y Rosa, quienes han entregado su tiempo para compartirme generosamente su valioso conocimiento. A Javier y Ester, por ser parte de mi formación. A Daniel, por enseñarme a ver la investigación desde una perspectiva diferente, práctica y objetiva. A María Eugenia, Jorge y Adriana por sus valiosos aportes.

A mis amigos y amigas, Diego, Rosa, Bárbara y Jorge, quienes entregaron su tiempo para que pudiera cumplir este sueño.

A la SENESCYT y a la Universidad Central del Ecuador, por el apoyo económico brindado en esta formación doctoral.

Al yoga que, en cada inhalación y exhalación, se ha convertido en mi boleto hacia la quietud y la calma de mi cuerpo y mi mente.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

RESUMEN

Los sistemas de buses de tránsito rápido (Bus Rapid Transit, BRT por sus siglas en inglés) han experimentado un gran crecimiento en los últimos años, pues más de 170 ciudades tienen algún tipo de sistema BRT. La evidencia empírica acerca de la relación entre el entorno urbano y estos sistemas todavía requiere ser estudiada, especialmente en las urbes en desarrollo que no disponen de información a pie de calle para realizar análisis en el nivel de las estaciones.

En este contexto, el primer objetivo de la investigación fue generar datos a microescala (a pie de calle) del entorno próximo a las estaciones del sistema BRT de Quito, mediante métodos e instrumentos de análisis de campo, así como seguimientos, recopilación técnica de información de características del entorno urbano y encuestas. Además, se propuso utilizar los sistemas de información geográfica (SIG) para el manejo y análisis de los datos. Así, se obtuvieron mapas que representan la densidad de la población a escala de manzana y a escala de segmentos: la densidad de la edificación, la mezcla de usos de suelo (servicios, entidades públicas, escuelas, comercio, etc.); mezcla vertical (es decir, usos de vivienda, comercio y oficina en el mismo edificio) y características de espacio público (seguridad vial, ancho de acera, topografía, etc.). Se propuso también identificar el umbral de distancia máxima mediante el método de seguimiento, cuyo hallazgo revela que este umbral se sitúa en una distancia de 600 metros. En relación al objetivo de analizar las características de los usuarios del sistema BRT y el comportamiento del viaje a través de una encuesta de intercepción, los resultados establecen que la mayoría de los usuarios encuestados corresponden al grupo femenino con formación académica universitaria que utiliza el transporte por trabajo.

El siguiente objetivo fue determinar de forma cuantitativa la relación entre el sistema BRT de Quito y las características del entorno urbano en un umbral de distancia de 600 m, en 42 puntos a través del análisis estadístico multivariante (modelo de regresión múltiple). Los resultados señalan que la densidad de los segmentos del viario con acera entre 3 y 4 metros, la densidad del equipamiento de administración pública son variables significativas y positivas. Asimismo, la distancia al centro de la ciudad (accesibilidad regional) y la distancia a los destinos dentro de los 400 metros, (accesibilidad local), son dominios con signo negativo. Mientras que, la densidad no tiene un poder explicativo en el modelo de demanda del sistema tipo BRT de la ciudad de Quito.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Asimismo, se planteó el examinar las cualidades del contexto inmediato de las mismas 42 estaciones del sistema BRT de Quito dentro de un umbral de distancia de 600 m a través del análisis estadístico multivariante. Los resultados muestran que la accesibilidad local, es decir, la distancia a la parada destino, el índice de rodeo (relación entre la distancia a pie medida a través de la red y la distancia euclidiana), el logaritmo de la densidad de la población se correlaciona de manera positiva con la distancia a pie. Mientras que, la densidad de los estratos (medio alto y alto), la densidad no residente (personas que trabajan, estudian o realizan otras actividades) y la distancia a la parada destino son variables significativas y con signo negativo.

Otro objetivo de estudio fue tipificar el entorno urbano próximo de las 42 paradas en un umbral de distancia de 600 metros del sistema BRT de Quito a través del análisis estadístico factorial y los clústeres. Las características del entorno se clasificaron en tres factores, los cuales sugieren que el uso de residencia, los usos mixtos, la presencia de comercio y entidades públicas, las facilidades peatonales y la seguridad vial, están relacionadas positivamente con el transporte público BRT de Quito. La tipología dos (zona de alta mezcla de usos de suelo en 400 metros de la estación y espacios amigables para los peatones) de estaciones BRT en Quito indica que tanto las características del desarrollo orientado al transporte Transit Oriented Development (TOD por sus siglas en inglés), como el índice de mezcla de usos de suelo, la densidad de red, el índice de servicio, las facilidades peatonales, la densidad de los parqueaderos y la densidad de población dentro de un umbral de 400 metros, desempeñan un papel importante para explicar la cantidad de pasajeros del sistema BRT de Quito.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

ABSTRACT

Bus Rapid Transit (BRT) systems have experienced tremendous growth in recent years, with more than 170 cities having some form of BRT system. Empirical evidence about the relationship between the urban environment and these systems still needs to be studied, especially in developing cities that do not have street-level information for station-level analysis.

In this context, the first objective of the research was to generate micro-scale data (at street level) of the environment near the stations of Quito's BRT system, through field analysis methods and tools, as well as monitoring, technical collection of information on urban environment characteristics and surveys. In addition, the use of geographic information systems (GIS) was proposed for data management and analysis. As a result, maps were obtained that represent population density at the block scale and at the segment scale: building density, mix of land uses (services, public entities, schools, commerce, etc.), vertical mix (i.e., housing, commerce and office uses in the same building) and public space characteristics (road safety, sidewalk width, topography, etc.).

Also, it was proposed to identify the maximum distance threshold using the tracking method, the finding of which reveals a distance of 600 meters. Regarding the objective of recognizing the qualities of the users of the BRT system and the characteristics of the trip through the application of an intercept survey, the results establish that most of the surveyed users correspond to female group with university education who use the transport for work.

The next objective was to quantitatively determine the relationship between Quito's BRT system and the characteristics of the urban environment at a distance threshold of 600 meters, at 42 locations through multivariate statistical analysis (multiple regression model). The results indicate that the density of road segments with sidewalks between 3 and 4 meters, the density of public administration equipment are significant and positive variables, likewise, the distance to the city center, regional accessibility and the distance to destinations within 400 meters, local accessibility, are domains with a negative sign. Meanwhile, density has no explanatory power in the demand model of the BRT type system in the city of Quito.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Likewise, it was proposed to examine the qualities of the immediate context of the same 42 stations of the Quito BRT system within a distance threshold of 600 meters through multivariate statistical analysis. The results show that local accessibility, meaning the distance to the destination stop, the rounding index (ratio between the walking distance measured through the network and the Euclidean distance), the logarithm of the population density correlates positively with the walking distance. While, stratum density (upper middle and high), non-resident density (people working, studying or performing other activities) and distance to the destination stop are significant variables and with negative sign.

Another study objective was to typify the proximate urban environment of the 42 stops within a distance threshold of 600 meters of the Quito BRT system through statistical factor analysis and clustering. The characteristics of the environment were classified into three factors, which suggest that residential use, mixed uses, presence of commerce and public entities, pedestrian facilities, and road safety are positively related to Quito BRT public transport. Typology two (high land use mix zone within 400 m of the station and pedestrian-friendly spaces) of BRT stations in Quito indicates that both the characteristics of Transit Oriented Development (TOD) and the land use mix index, network density, service index, pedestrian facilities, parking density, and population density within a 400 meters threshold play an important role in explaining the ridership of Quito's BRT system.

RESUMEIXEN

Els sistemes de busos de trànsit ràpid (Bus Rapid Transit, BRT per les seues sigles en anglés) han experimentat un gran creixement en els últims anys, perquè més de 170 ciutats tenen algun tipus de sistema BRT. L'evidència empírica sobre la relació entre l'entorn urbà i estos sistemes encara requereix ser estudiada, especialment en les urbs en desenvolupament que no disposen d'informació a peu de carrer per a realitzar anàlisi en el nivell de les estacions.

En este context, el primer objectiu de la investigació va ser generar dades a microescala (a peu de carrer) de l'entorn pròxim a les estacions del sistema BRT de Quito, mitjançant mètodes i instruments d'anàlisi de camp, així com seguiments, recopilació tècnica d'informació de característiques de l'entorn urbà i enquestes. A més, es va proposar utilitzar els sistemes d'informació geogràfica (*SIG) per al maneig i anàlisi de les dades. Així, es van obtindre mapes que representen la densitat de la població a escala de poma i a escala de segments: la densitat de l'edificació, la mescla d'usos de sòl (serveis, entitats públiques, escoles, comerç, etc.); mescla vertical (és a dir, usos d'habitatge, comerç i oficina en el mateix edifici) i característiques d'espai públic (seguretat viària, ample de vorera, topografia, etc.). Es va proposar també identificar el llindar de distància màxima mitjançant el mètode de seguiment, la troballa del qual revela que este llindar se situa en una distància de 600 metres. En relació a l'objectiu d'analitzar les característiques dels usuaris del sistema BRT i el comportament del viatge a través d'una enquesta d'intercepció, els resultats estableixen que la majoria dels usuaris enquestats corresponen al grup femení amb formació acadèmica universitària que utilitza el transport per treball.

El següent objectiu va ser determinar de manera quantitativa la relació entre el sistema BRT de Quito i les característiques de l'entorn urbà en un llindar de distància de 600 metres, en 42 punts a través de l'anàlisi estadística multivariant (model de regressió múltiple). Els resultats assenyalen que la densitat dels segments del viari amb vorera entre 3 i 4 metres, la densitat de l'equipament d'administració pública són variables significatives i positives. Així mateix, la distància al centre de la ciutat (accessibilitat regional) i la distància als destins dins dels 400 metres, (accessibilitat local), són dominis amb signe negatiu. Mentre que, la densitat no té un poder explicatiu en el model de demanda del sistema tipus BRT de la ciutat de Quito.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Així mateix, es va plantejar l'examinar les qualitats del context immediat de les mateixes 42 estacions del sistema BRT de Quito dins d'un llindar de distància de 600 metres a través de l'anàlisi estadística multivariant. Els resultats mostren que l'accessibilitat local, és a dir, la distància a la parada destine, l'índex de marrada (relació entre la distància a peu mesurada a través de la xarxa i la distància euclidiana), el logaritme de la densitat de la població es correlaciona de manera positiva amb la distància a peu. Mentre que, la densitat dels estrats (mig alt i alt), la densitat no resident (persones que treballen, estudien o realitzen altres activitats) i la distància a la parada destine són variables significatives i amb signe negatiu.

Un altre objectiu d'estudi va ser tipificar l'entorn urbà pròxim de les 42 parades en un llindar de distància de 600 metres del sistema BRT de Quito a través de l'anàlisi estadística factorial i els clústers. Les característiques de l'entorn es van classificar en tres factors, els quals suggereixen que l'ús de residència, els usos mixtos, la presència de comerç i entitats públiques, les facilitats per als vianants i la seguretat viària, estan relacionades positivament amb el transport públic BRT de Quito. La tipologia dues (zona d'alta mescla d'usos de sòl en 400 metres de l'estació i espais amigables per als vianants) d'estacions BRT a Quito indica que tant les característiques del desenvolupament orientat al transport *Transit Oriented Development* (TOD per les seues sigles en anglés), com l'índex de mescla d'usos de sòl, la densitat de xarxa, l'índex de servei, les facilitats per als vianants, la densitat dels estacionaments i la densitat de població dins d'un llindar de 400 metres, exerceixen un paper important per a explicar la quantitat de passatgers del sistema BRT de Quito.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE
LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

CONTENIDO

RESUMEN	III
ABSTRACT.....	V
RESUMEIXEN.....	VII
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Relevancia e importancia.....	19
1.2. Estructura de la tesis.....	20
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE.....	22
2.1. Sistemas de transporte público masivo de autobuses (BRT): aproximaciones conceptuales ...	22
2.1.1. La evolución del concepto	22
2.1.2. Caracterización del BRT: componentes.....	26
2.1.3. Conceptualización del sistema de transporte masivo de autobuses tipo BRT	29
2.2. Evolución de las estrategias de planificación orientadas al transporte público.....	30
2.3. El entorno urbano y sus relaciones con el modo a pie y el transporte público.....	32
2.3.1. Entorno urbano, densidad, diversidad, diseño, accesibilidad al destino y accesibilidad a la estación: una aproximación conceptual	33
2.3.2. La asociación entre las variables urbanísticas y los desplazamientos a pie	36
2.3.4. Variables urbanísticas que influyen en el viaje en transporte público sobre rieles; relación entre el entorno urbano y el transporte público tipo BRT	40
CAPÍTULO 3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	52
3.1. Pregunta, objetivos e hipótesis.....	55
CAPÍTULO 4. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	58
4.1. Descripción de la metodología	58
4.2. Métodos de recolección de la data alrededor de las estaciones del BRT de Quito.....	61
4.2.1. Método de recopilación de datos: rastreo o seguimiento (OE 2)	61
4.2.2. Método para medir el entorno urbano: la herramienta Pedestrian Environmental Data Scan (PEDS) (Objetivo 3)	71
4.2.3. Método de medición de recolección de datos: encuesta	80
4.2.4. Resultados de la encuesta.....	82
CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO DE LAS ESTACIONES DEL BRT DE QUITO	85
5.1. Sistema de transporte público colectivo tipo BRT de Quito	85

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

5.2. Distribución de la población residencial en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús	87
5.3. Distribución espacial de uso del suelo en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús	92
5.4. Distribución espacial de las variables del domino diseño.....	97
CAPÍTULO 6. VARIABLES DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	101
6.1. Análisis estadístico de las variables que intervienen en los OE 2 y OE 4	101
6.1.1. Umbral de distancia máxima recorrida a pie a las estaciones (OE 2)	101
6.1.2. Análisis de las variables que describen las cualidades del usuario del BRT y las características del viaje (OE 4)	102
6.2. Cálculo de las variables urbanísticas, socioeconómicas y accesibilidad al destino (OE 5)	107
6.2.1. Relación entre las variables urbanísticas, socioeconómicas, accesibilidad al destino y distancia a pie a las estaciones (OE 5)	108
6.3. Cálculo y análisis descriptivo de las variables (objetivos 6 y 7)	122
6.3.1. Modelo de demanda de estimación directa de 42 estaciones del sistema BRT de Quito..	132
6.3.2. Análisis de tipologías de estaciones del sistema BRT	135
6.3.3. Análisis de características DOT en tipologías y abordajes BRT en ciudades en desarrollo, como Quito.....	144
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN	146
7.1. Limitaciones y aciertos de los hallazgos previos sobre la relación entre las variables urbanísticas y los modos de transporte, el tipo BRT y el viaje a pie (OE1).....	146
7.2. Caracterizar el entorno socioespacial de las estaciones del sistema BRT de Quito (OE2)	147
7.1. Umbral de distancia máxima a pie a las estaciones del sistema BRT de Quito (OE3)	148
7.2. Comportamiento de los usuarios del sistema BRT y características del viaje (objetivo4).....	148
7.3. Distancia a pie a las estaciones del sistema BRT de Quito	149
7.4. Modelo de demanda de estimación directa de 42 estaciones del sistema BRT de Quito.....	151
7.5. Tipologías de estaciones en el sistema tipo BRT de Quito.....	153
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES	155
CAPÍTULO 9. LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	159
9.1. Limitaciones	159
9.2. Futuras líneas de investigación	160
REFERENCIAS.....	161
ANEXO	179
Anexo 1. Mapa de variables a pie de calle (Objetivo 2).....	179

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE
LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Anexo 2. Mapa localización de destinos (Objetivo 3).....	186
Anexo 3. Producción de Tesis	187

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE
LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estudios sobre la relación entre entorno urbano y el número de pasajeros (metro, tren ligero) a escala de estación.....	43
Tabla 2. Descripción de los modelos de demanda del sistema de transporte tipo BRT.....	48
Tabla 3. Instrumento para registrar la información de los recorridos a escala de segmento.....	63
Tabla 4. Tabla del análisis descriptivo de las variables distancia y tiempo de los itinerarios a pie registrados por el método de seguimiento.....	68
Tabla 5. Tabla de análisis porcentual de los destinos de los itinerarios a pie registrados por el método de seguimiento n (1680).....	69
Tabla 6 . Cuadro comparativo de los instrumentos PEDS	72
Tabla 7. Análisis de las variables cuantitativas recopiladas en la encuesta de intercepción n (723)	83
Tabla 8. Análisis descriptivo de la variable distancia a pie a las estaciones del sistema BRT de Quito	102
Tabla 9. Distribución porcentual de la variable categórica género	103
Tabla 10. Análisis descriptivo de la variable cualitativa edad	103
Tabla 11. Análisis descriptivo de la variable cualitativa nivel de estudios.....	104
Tabla 12. Análisis descriptivo de la variable cualitativa actividad que va a realizar	104
Tabla 13. Análisis descriptivo de la variable cualitativa percepción de la selección de ruta para llegar a la estación del sistema Tipo BRT	106
Tabla 14 . Descripción de las variables exploradas y su análisis estadístico descriptivo	110
Tabla 15. Análisis descriptivo de la variable dependiente	112
Tabla 16. Coeficientes de las variables que influyen en el modelo de regresión múltiple utilizado...	114
Tabla 17. Resultados del modelo de regresión múltiple	115
Tabla 18. Técnica de análisis de varianza (Anova).....	115
Tabla 19. Prueba de normalidad	116
Tabla 20. Especificación de las variables por nivel	117
Tabla 21. Criterios de información del modelo nulo	117
Tabla 22. Modelo Nulo, estimaciones de efectos fijos	118
Tabla 23. Modelo Nulo, estimaciones de parámetros de covarianza	118
Tabla 24. Estimación de efectos fijos del modelo multinivel	120
Tabla 25. Estimación de efectos de parámetros de covarianza	121
Tabla 26. Variables del entorno construido, definición, escala de recopilación de datos y fuente	124

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Tabla 27. Estadísticas descriptivas, número de usuarios del sistema BRT de Quito y variables del entorno construido	129
Tabla 28. Correlaciones entre la variable dependiente (número de pasajeros del sistema BRT) y las variables independientes	131
Tabla 29. Coeficientes de las variables que influyen en el modelo de demanda del BRT de Quito...	134
Tabla 30. Resultados del modelo de demanda del BRT de Quito	135
Tabla 31. Técnica de análisis de varianza (Anova).....	135
Tabla 32. Las variables con los valores más altos de los coeficientes de correlación	137
Tabla 33. Matriz de factores rotados.....	139
Tabla 34. Promedio de factores y variables en cada uno de los clústeres (tipologías)	141
Tabla 35. Análisis descriptivo de los factores, densidad de la población, distancia al centro de negocio y el destino a 400 m	144
Tabla 36. Coeficientes de las variables que influyen en el modelo de regresión logarítmica lineal: cantidad de pasajeros, densidad de población, factores 1, 2 y 3	145

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE
LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Repartición modal.....	19
Figura 2. Evolución del sistema de autobuses de transporte rápido (BRT)	26
Figura 3. Componentes del sistema BRT de Quito.....	29
Figura 4. Comparación de la delimitación con técnica de la distancia medida en línea recta y la distancia medida a través de la red.....	59
Figura 5. Codificación de los segmentos de red	60
Figura 6. Metodología de Investigación	61
Figura 7. El mapa del itinerario con los segmentos del viario codificados.....	62
Figura 8. Itinerario peatonal registrado en la web de la aplicación	64
Figura 9. Mapa de los recorridos peatonales alrededor de las estaciones del sistema BRT de Quito...67	
Figura 10. Distribución porcentual de los destinos en distancias de 200-400-600 metros	70
Figura 11. Modelo de instrumento de auditoría de las características del entorno urbano	75
Figura 12. Instrumentos de medición de las variables urbanísticas	76
Figura 13. Mapa de los segmentos en los que se aplicó el instrumento PEDS.....	79
Figura 14. Encuesta aplicada al ingreso de las estaciones del sistema BRT.....	82
Figura 15. Sistema BRT de Quito, corredores Trolebús y Ecovía.....	87
Figura 16. Mapa de la distribución espacial de la población en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús	89
Figura 17. Mapa de densidad edificatoria en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús medido a escala de segmento del viario.....	91
Figura 18. Mapa de los segmentos con usos de mezcla vertical (comercio, oficinas y vivienda) en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús	93
Figura 19. Mapa de los segmentos con usos de equipamientos de cultura, salud y educación en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús	95
Figura 20. Mapa de los segmentos del viario con usos de hotel, financiero y oficinas en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús	96
Figura 21. Mapa de los segmentos con anchos de acera en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús	97
Figura 22. Mapa de los segmentos de red con el número de personas que permanecen en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús	99
Figura 23. Mapa de los segmentos del viario con el número de personas que circulan en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús	100
Figura 24. Distribución porcentual de los itinerarios peatonales recorrida desde las paradas a los destinos dentro de umbrales máximos de 200 metros.....	102

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE
LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Figura 25. Distancia peatonal total recorrida en cada una de las variables categóricas y una variable cuantitativa.....	105
Figura 26. Distancia a pie total recorrida en cada una de las variables categóricas de selección de la ruta	106
Figura 27. BoxPlot de la variable recorrida en metros en cada estación	119
Figura 28. Representación gráfica del número óptimo de factores.....	138
Figura 29. Diagrama de árbol de los factores	140
Figura 30. Dendograma de clúster de las paradas.....	142
Figura 31. Distribución de los factores y destinos de clúster 1.....	142
Figura 32. Distribución porcentual de los factores, destinos, densidad residente y número de pasajeros del clúster 2.....	143
Figura 33. Distribución porcentual de los factores, destinos, densidad residente y número de pasajeros del clúster 3.....	144
Figura 34. Mapa de los segmentos de red de la pendiente en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús (Ítem de generalidades en la ficha PEDS)	179
Figura 35. Mapa de los segmentos de red de tipología de vivienda en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús (Ítem de usos de suelo en la ficha PEDS).....	180
Figura 36. Mapa de los segmentos de red de vivienda multifamiliar en los corredores Ecovía y Trolebús (Ítem de usos del suelo en la ficha PEDS).....	181
Figura 37. Mapa de los segmentos de red con usos de industria y vacantes en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús (Ítem de usos del suelo en la ficha PEDS).....	182
Figura 38. Mapa de los segmentos del viario que tienen seguridad vial en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús (Ítem de facilidades de desplazamiento en la ficha PEDS).....	183
Figura 39. Mapa de los segmentos de red con parqueaderos formales e informales en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús (Ítem instalaciones de transporte rodado en la ficha PEDS)	184
Figura 40. Mapa de los segmentos de red con fachadas con transparencia en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús (Ítem seguridad en la ficha PEDS).....	185
Figura 41. Mapa de isócronas con los destinos de los itinerarios peatonales en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús	186

LISTADO DE ABREVIATURAS

BART	Bay Área Rapid Transit. Sistema de transporte metropolitano que sirve a varios distritos del área de la Bahía de San Francisco en California, Estados Unidos
BRT	Sistema de transporte público masivo de autobuses (Bus Rapid Transit)
BHLS	Autobús con un alto nivel de servicio (Bus with a High Level of Service)
CBD	Centro de actividades (Central Business District)
DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
MetroBusQ	Sistema de corredores exclusivos de transporte público de la ciudad de Quito, compuesto por buses biarticulados BRT
MRD	Modelo de estimación directa (Direct Ridership Model)
OLS	Mínimos cuadrados ordinarios.
PEDS Scan)	Escaneo de datos ambientales para peatones (Pedestrian Environmental Data Scan)
SIG	Sistema de Información Geográfica
SPSS	Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (Statistical Package for Social Sciences)
TND	Desarrollo a escala de barrio (Neighborhoods Development)
TOD	Transit Oriented Design or Development
DOT	Desarrollo Orientado al Transporte
Mashup	Aplicación híbrida que utiliza los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) de los dispositivos celulares.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

En esta investigación se examinan las particularidades del entorno urbano próximo a las estaciones del sistema de transporte público masivo de autobuses Bus Rapid Transit (conocido como BRT por sus siglas en inglés). El objetivo es identificar la relación que estas características urbanísticas y los factores sociodemográficos mantienen con la demanda del sistema tipo BRT y con la caminata.

En general, los sistemas BRT se han implementado en las ciudades bajo criterios de análisis de demanda, en su mayoría calculada a través del modelo tradicional que involucra variables socioeconómicas, demográficas y datos de encuestas origen-destino (Galicía y Cheu, 2013). Sin embargo, los aportes recientes permiten sostener que el **entorno urbano también influye en el número de pasajeros** (Suzuki et al., 2014; Vergel-Tovar y Rodríguez, 2018), específicamente en sus atributos, en la densidad, en la mezcla de usos de suelo, en el diseño, en el destino y en la distancia del transporte. Los resultados acerca de la relación entre la densidad, mezcla de usos de suelo y la demanda del transporte resultan contradictorios, de hecho, sugieren enfocar las investigaciones (Ewing y Cervero, 2010) en sistemas poco conocidos como el BRT y en un entorno diferente al de las urbes de Estados Unidos (Cervero, 2013b).

La relación entre el transporte público y el uso de suelo, es un reto para las ciudades que están experimentando un rápido desarrollo (Cervero, 2013b), principalmente para aquellas que se caracterizan por un crecimiento informal hacia las zonas suburbanas. Estas ciudades enfrentan una mayor presencia de usos de residencia en las zonas extremas y una concentración de bienes, servicios públicos, empleos y equipamientos en las zonas centrales, razón por la cual sus habitantes necesitan el transporte para acceder a los servicios. Esta tendencia de urbanización no solo enfrenta el desafío de accesibilidad al destino, sino también la accesibilidad al sistema de transporte, lo que implica una asociación con el entorno próximo. En algunas ciudades no consideran como potencial el acceso al sistema de transporte; otras, en cambio, sugieren promover un entorno de Transit Oriented Design or Development, por sus siglas en inglés (TOD) y en castellano Desarrollo Orientado al Transporte (DOT); con características de mezcla de usos de suelo con densidad residencial, con densidad de empleo, con densidad de comercio (Dittmar y Poticha, 2004), y un diseño orientado al peatón (Estupiñán y Rodríguez, 2008) en las zonas próximas a las estaciones de transporte.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

La urbanización informal hacia las zonas suburbanas es la tendencia de las ciudades en desarrollo como es el caso de Quito, ciudad que presenta marcadas diferencias territoriales en la distribución espacial de la población y en los usos del suelo. Durante el período 2001-2010 la población registró algunas variaciones: en la zona rural se reportó una tasa de crecimiento de 4,1 % y en la zona urbana del 1,4 %; el crecimiento de los habitantes de la zona urbana se localizó en la periferia y en la zona consolidada decreció el 2,5 %. Respecto a la distribución de los usos de suelo se encuentran concentrados en la zona centro-norte de la ciudad, razón por la cual atrae y genera la mayoría de los desplazamientos motorizados (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011). A microescala, los datos son limitados como para establecer un escenario del estado actual del entorno próximo a las estaciones del sistema BRT de Quito.

Esta organización espacial promueve una importante cantidad de desplazamientos diarios en modos motorizados, entre los que predomina el transporte público con el 61,3 % (incluye transporte escolar e institucional), seguido del transporte privado (incluye a taxis) con 23 %, luego aparecen los desplazamientos peatonales con el 15,3 % y la bicicleta con el 0,3 % (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014). La figura 1 muestra la distribución porcentual de los modos de desplazamiento en Quito. En consecuencia, la ciudad enfrenta importantes problemas de congestión vehicular que se revelan a través de la contaminación ambiental y de las tasas de accidentabilidad.

La integración del uso del suelo y el transporte público puede ser una oportunidad para enfrentar este proceso de rápida urbanización, por ello la presente investigación considera esta relación como una posible alternativa a aplicarse en la ciudad de Quito. Puesto que la ciudad no cuenta con una base de datos a microescala acerca de las características del entorno urbano el primer reto de este estudio es generar una. El siguiente paso es construir un modelo de demanda, en el que se incluyan las características del entorno urbano. Luego, con la data recopilada en cada estación, clasificar las estaciones por tipología e identificar las características (DOT) presentes en el entorno próximo a las estaciones del BRT de Quito; considerando los criterios comunes, como son: el buen diseño peatonal, zonas con mezcla de usos de suelo, presencia de administración pública, además, la implementación de estacionamientos cercanos a las estaciones, siempre y cuando corresponda a un enfoque integral del proyecto (Cervero et al., 2004).

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Además, se considera importante recopilar información acerca de la accesibilidad a las estaciones del sistema BRT, como una alternativa para identificar la distancia de la localización de los usos de suelo en relación con la estación del sistema BRT de Quito.

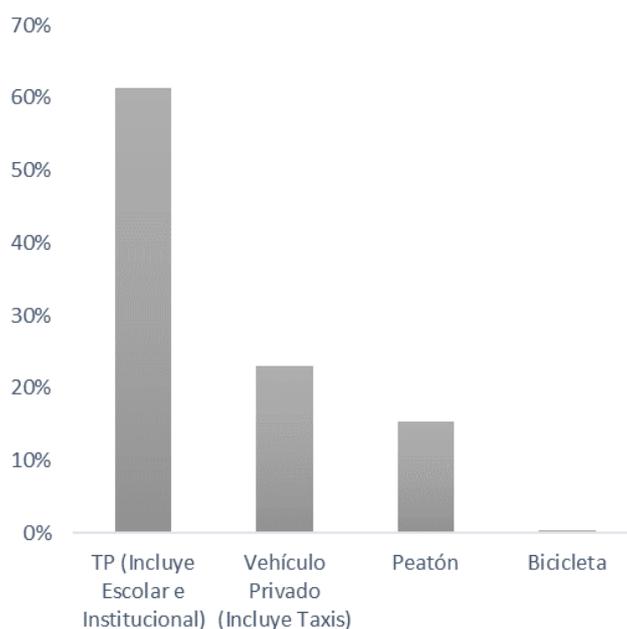


Figura 1. Repartición modal

Fuente: Elaborado a partir de los datos publicados por el Ilustre Municipio de Quito 2014

1.1. Relevancia e importancia

Los objetivos de esta investigación contribuyen a llenar algunos de los vacíos existentes acerca de las cualidades de los dominios TOD, que influyen en el comportamiento de los viajes BRT. En primer lugar, la investigación enfrenta algunos supuestos convencionales analizados en otros tipos de transporte público, como es el caso de la implicación que tiene la alta densidad en las zonas próximas a las estaciones sobre el número de pasajeros, así como también el aporte de los otros atributos del entorno urbano a la demanda del BRT. Además, este trabajo tiene relevancia, puesto que utiliza las tipologías del entorno urbano alrededor de las estaciones para analizar la relación con el número de pasajeros; utilizando un área de servicio con un umbral de distancia máxima de 600 metros, medido a través de la red, método poco utilizado, a pesar

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

de que con este proceso de medición se ajusta más a la realidad. Puesto que los estudios empíricos sobre este tema son limitados, en este trabajo se registra el comportamiento del viaje BRT, mediante un enfoque que combina el análisis de variables cualitativas a microescala para promover criterios de desarrollo urbano sostenible en ciudades con características similares a Quito.

1.2. Estructura de la tesis

La presente tesis doctoral se divide en nueve capítulos, en los cuales se expone el tema seleccionado: la relación entre el transporte público y el entorno urbano; entre la distancia a pie y el contexto inmediato a las estaciones; el umbral de distancia máxima a pie a las estaciones del BRT de la ciudad de Quito, Ecuador. El objetivo general se enfoca a examinar las variables urbanas y sociodemográficas (variables independientes) alrededor de las estaciones del sistema de transporte tipo BRT de Quito, utilizando técnicas de análisis estadístico factorial y multivariante. Así, este primer capítulo constituye la introducción de la tesis.

En el segundo capítulo, se realiza una aproximación a las variables que intervienen en la investigación. Se establece un marco para abordar la conceptualización de los componentes: entorno urbano, densidad y transporte público tipo BRT. Luego se analizan las implicaciones del entorno urbano y la densidad sobre el uso del sistema de transporte público tipo BRT; y la relación entre la distancia a pie y el contexto inmediato a las estaciones del transporte público. Para ello, se han establecido dos contextos temporales: actual y futuro (potencialidades). En el contexto actual se describe el problema concreto de la investigación, se detalla la relevancia y la pertinencia del tema. En el contexto futuro se examinan estudios previos con sus aportes y limitaciones.

En el tercer capítulo se presenta: la pregunta, los objetivos y las hipótesis. En el cuarto capítulo se describe el procedimiento metodológico, que se basa en el enfoque analítico-cuantitativo. Contiene la delimitación de las áreas de servicio y la explicación sobre la compilación de datos en los diferentes niveles, la elaboración de índices e indicadores, el análisis espacial de las variables en SIG y concluye con el análisis estadístico. Además, se mencionan las metodologías utilizadas para la compilación de datos *in situ*, tales como: la encuesta, la ficha Pedestrian Environmental Data Scan (PEDS por sus siglas en inglés), las herramientas informáticas y la

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

metodología de rastreo para registrar los itinerarios peatonales realizados por los usuarios del sistema de transporte tipo BRT.

El quinto capítulo detalla la caracterización del entorno urbano de las estaciones del BRT en Quito, se describe la distribución de la población alrededor de las paradas, como la distribución de usos de suelo, las características de la red de espacios públicos, el mapeo de la percepción de los usuarios y el registro de las rutas peatonales realizadas por los usuarios del sistema de transporte. En el sexto capítulo se describe el análisis de las variables y los modelos matemáticos como: el modelo de estimación directa, el análisis factorial y el análisis de clúster. En el séptimo y octavo capítulos se exponen la discusión y las conclusiones, respectivamente. Las recomendaciones, las futuras líneas de investigación y las limitaciones del estudio acerca de los datos disponibles constan en el capítulo 9.

Luego de las referencias consultadas, cuyo núcleo organizador es la relación entre las variables urbanísticas, la densidad y el uso del transporte público, aparecen los anexos que contienen información de la producción de la tesis, publicaciones en revistas y la participación en congresos.

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

El objetivo es presentar la revisión de la literatura que fundamenta esta tesis doctoral. Así, se considera el entorno urbano como elemento estructurador de modos de transporte más sostenibles, el Sistema Público Masivo de Autobuses (BRT por sus siglas en inglés de Bus Rapid Transit) y la influencia del entorno urbano sobre dos modos de transporte: el colectivo tipo BRT y la caminata.

El capítulo se estructura en cuatro apartados. En el primero, se plantea una aproximación al concepto y las cualidades del entorno urbano, como elemento clave para promover el uso del transporte público, sobre todo el sistema tipo BRT y la caminata de acceso a las estaciones. En el segundo, se realiza una revisión de la evolución de la terminología sobre el BRT. Seguidamente, se exploran los hallazgos sobre la relación que mantienen las variables urbanísticas, tanto con el transporte tipo BRT y la caminata como modo de transporte. En el cuarto apartado se identifican los modelos estadísticos con los que los estudios previos confirmaron las asociaciones de los componentes antes citados.

2.1. Sistemas de transporte público masivo de autobuses (BRT): aproximaciones conceptuales

En este subapartado se contextualiza el transporte de autobuses desde su origen hasta llegar al término con el que actualmente se conocen y precisan sus componentes. A partir del estudio y la definición de este término, se determina el concepto de BRT que se asume en la presente investigación.

2.1.1. La evolución del concepto

El concepto de sistema de autobuses de tránsito rápido surgió por primera vez en el Plan Integral de Transporte para la ciudad de Chicago (Illinois, EE. UU.), en 1937. La propuesta consistió en establecer corredores expresos para buses convencionales, que sustituyeran las tres líneas de sistemas sobre rieles; de esta manera apareció la idea del carril exclusivo (Levinson et al., 2003; Deng y Nelson, 2011). Nuevamente, la idea de circuito único surgió en las primeras propuestas de estudio sobre los sistemas BRT para Washington D.C. en 1956-1959, cuyo planteamiento consistió en establecer cuatro carriles de uso exclusivo para autobuses expresos sobre las autopistas (*freeways*), que en la primera etapa circularían en un carril compartido.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

En 1959, en el plan de transporte para Saint Louis (Misuri, Estados Unidos) propusieron 137 corredores de autobuses rápidos, de los cuales el 49 % era de uso exclusivo en una carretera perimetral elevada. En 1970, el plan de transporte de Milwaukee (Wisconsin, EE.UU.) integró las rutas de autobuses expresos a lo largo de las autopistas (*freeways*) para conectar el área metropolitana (Levinson et al., 2003).

Las medidas de prioridad se mantuvieron sin ejecución hasta 1963, año en el que se implementaron los primeros corredores exclusivos para buses en sentido contrario al tráfico en Nueva York. En 1964, el carril segregado de buses en el mismo sentido que el tráfico se puso en marcha en París (Francia). Dos años después (1966), aparecieron los primeros carriles centrales de uso exclusivo en San Luis (Misuri) y en Lieja (Bélgica). En 1969, empezó a funcionar la primera vía exclusiva de alta velocidad en el norte de Virginia (Wright y Hook, 2010).

En 1967, el Plan New Town Development contempló un sistema de corredores exclusivos de buses (ejes estructurantes), cuyo propósito era direccionar el desarrollo de las nuevas ciudades en Runcorn, Inglaterra (International Federation for Housing and Planning, 1967). Esta propuesta de diseño se puso en marcha en 1971 (Wright y Hook, 2010; Deng y Nelson, 2011).

Años más tarde, el primer carril exclusivo de bus guiado (*guideway*), se presentó en dos ferias de transporte: la primera fue en Múnich en 1978 y la segunda en Hamburgo en 1979. Ambas pruebas promovieron su implementación en la avenida Fulerumer Strasse de la ciudad de Essen, Alemania, en 1980 (Boegner y Koch, 1984; Deng y Nelson, 2011).

Luego de esta experiencia, las ciudades que optaron por este sistema fueron Adelaide, Australia, en 1986; Ipswich, Suffolk, en 1995; Leeds, Yorkshire, en 1995 y Bradford, Yorkshire del Oeste, en 2002, las tres ciudades de Inglaterra. La última ciudad en poner en práctica el sistema de bus guiado debido al coste relativamente alto, fue la ciudad de Nogoya, Japón, también en 2002 (Wright y Hook, 2010).

En América Latina, Lima (Perú) implementó por primera vez la vía expresa en 1972; este hecho sentó las bases del transporte público en esta región (Deng y Nelson, 2011; Mejía-Dugand et al., 2013; Weinstock et al., 2011). En 1974, Curitiba, Brasil, mejoró la idea de carriles segregados de prioridad del transporte público, con la implementación de infraestructura como: estaciones, plataformas de embarque, cobro de tarifa antes del embarque, transferencia de rutas

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

a través de alimentadores; la mezcla de estas características son el punto de partida de lo que hoy se conoce como BRT (Weinstock et al., 2011).

Además de incorporar los carriles exclusivos y la innovación en la infraestructura, Curitiba integró este tipo de transporte público de autobuses en el plan maestro de la ciudad de 1965, para lograr un desarrollo respetuoso con el ambiente (Smith y Raemaekers, 1998; Hidalgo y Huizenga, 2013). Esta planificación manejó la visión a largo plazo, en base con los siguientes lineamientos: la mezcla de usos de suelo, la concentración de la población en las zonas próximas a los corredores principales del autobús y un diseño orientado a priorizar los desplazamientos no motorizados (Lindau et al., 2010). Gracias a este enfoque innovador de integrar la planificación con el sistema BRT, Curitiba se convirtió en una metrópolis del transporte público (Cervero, 1998).

Después del evidente desarrollo del transporte público de autobuses en Curitiba, aparecieron los primeros prototipos de BRT en EE.UU. En 1977, en Pittsburgh, Pensilvania, se implementó el primer sistema de autobuses “South Busway”. Los autobuses en esta zona operaron en vías exclusivas y al este compartieron el derecho de vía con el transporte de trenes ligeros; el sistema de transporte se extendió con la ruta “East Busway” (U.S. Department of Transportation Federal Transit Administration, 1998; Deng y Nelson, 2011; Weinstock et al., 2011). Estos sistemas de transporte de autobuses en Estados Unidos fueron opacados, en parte, por el desarrollo de otros tipos de transporte contemporáneos, como el sistema sobre rieles (Weinstock et al., 2011).

Mientras que en las ciudades estadounidenses se estaba invirtiendo en nuevos sistemas de transporte, en Ottawa, Canadá, se optó por el sistema de autobuses con vías de uso exclusivo, el cual se inauguró en 1983 (Deng y Nelson, 2011). Este sistema se convirtió en el instrumento principal para direccionar el crecimiento de la ciudad (Suzuki et al., 2014). Además de los amplios corredores de uso exclusivo para autobuses, el sistema de Ottawa, conocido como “Transitway”, integró las zonas para el pago de los tiquetes antes del embarque, buses articulados y paradas especiales (U.S. Department of Transportation Federal Transit Administration, 1998).

En la década de los noventa surgió el interés por los buses que se desplazaban en carriles exclusivos en algunas ciudades de Estados Unidos –Orlando, Florida–, en donde, este servicio empezó a funcionar sin costo, con el fin de mejorar la movilidad al centro de la ciudad y la

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

accesibilidad a los principales destinos, Miami y Orlando (Orange line) en 1977 (U.S. Department of Transportation Federal Transit Administration, 1998; Kimbler, 2005, aunque estos planteamientos no trascendieron.

En América Latina, el escenario fue diferente. El sistema tipo BRT se difundió rápidamente después del éxito alcanzado en ciudades brasileñas, sobre todo en Curitiba. La primera ciudad en implementar este sistema fue Belo Horizonte, 1975, un año después en Curitiba, Goiânia en 1976; Porto Alegre en 1977; São Paulo en 1980 (Global BRT Data, 2020). Luego, se expandió fuera del contexto brasileño a varias ciudades, entre las principales, Quito, Ecuador, en donde se inauguró el primer corredor BRT conocido como Trolebús en 1995 (Wright y Hook, 2010); y a Bogotá, Colombia, con el Transmilenio en el 2000 (Mejía-Dugand et al., 2013).

En el ámbito europeo, el transporte planteado fue más sofisticado. El prototipo de BRT evolucionó, pues empleó buses con un elevado nivel de servicio “Bus with a High Level of Service”, conocidos como BHLS por sus siglas en inglés (Valdés Serrano y López Lambas, 2010; López Lambas y Valdés Serrano, 2013).

El sistema BRT desde su creación ha ido sufriendo algunas innovaciones con el fin de mejorar su servicio, lo que le ha permitido convertirse en una solución de transporte popular para muchas ciudades (Weinstock et al., 2011). Actualmente, más de 180 ciudades disponen de algún tipo de sistema BRT, 50 de ellas están localizadas en América Latina, es decir, el 30% del total de urbes (Global BRT Data, 2020).

La figura 2 muestra la evolución del BRT, desde los primeros planteamientos de carriles exclusivos, hasta la infraestructura que ha sido la base para lo que hoy se conoce como sistema tipo BRT.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO



Figura 2. Evolución del sistema de autobuses de transporte rápido (BRT)

Nota: Elaborado por la autora a partir de Boegner y Koch, 1984; Levinson et al., 2003; Wright y Hook, 2010; Weinstock et al., 2011; Darío Hidalgo, Pereira et al., 2013; Mejía-Dugand et al., 2013; Suzuki et al., 2014; Global BRT Data, 2020.

2.1.2. Caracterización del BRT: componentes

En esta sección se describen los cuatro componentes básicos para que un sistema de autobuses se considere BRT: 1) vías de circulación de este tipo de transporte; 2) estaciones diseñadas para enfrentar algunas necesidades locales; 3) sistema de cobro previo al abordaje; y 4) autobuses de fácil acceso y con mayor capacidad en las zonas consolidadas (Levinson et al., 2002).

1. La velocidad y la confiabilidad dependen en gran medida de las vías de circulación (Deng y Nelson, 2011; Suzuki et al., 2014). Estas incluyen carriles de uso exclusivo, de

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

tráfico mixto, carriles de alta ocupación (HOV por sus siglas en inglés), y carriles reservados en autopista (Levinson et al., 2002; Cain et al., 2009). Los carriles exclusivos BRT pueden operar en infraestructuras pertenecientes a otros sistemas., en vías arteriales delimitadas con una infraestructura fija (paredes, vallas, bordillos, etc.) o por límites visuales apoyados con dispositivos de detección para restringir la circulación de otro tipo de transporte; un ejemplo de este último es una sección del Trolebús de Quito. En cambio, el BRT en el carril de tráfico mixto comparte la ruta con el tráfico en general. El tercer tipo de carril es el destinado para el transporte masivo, que se localiza en el nivel de la calle y se encuentra marcado con pintura o señalética vertical. Bajo este mismo criterio, funciona el carril reservado en autopistas (Levinson et al., 2002; Wright y Hook, 2010).

- La estación, segundo componente, es la zona de embarque y desembarque de pasajeros, es decir, se trata del punto de conexión entre los usuarios y los autobuses del sistema tipo BRT (Levinson et al., 2003; Weinstock et al., 2011). Se distinguen por su ubicación y diseño, entre otros aspectos. Con respecto a la ubicación, las estaciones pueden estar localizadas en la acera o en las zonas centrales; al mismo nivel del bordillo o sobre plataformas. Un ejemplo de estaciones sobre plataforma son las estaciones del sistema BRT de Bogotá, Quito y Curitiba; las cuales están ubicadas en islas centrales y tienen rampas que se despliegan a los extremos para facilitar el acceso y salida de los pasajeros (Levinson et al., 2002).
 - En cuanto a su diseño, la mayoría de las estaciones se caracterizan por ser zonas de protección frente a las condicionantes climáticas o sitios seguros (Weinstock et al., 2011). Por ejemplo, las estaciones del BRT de Ottawa, Canadá, son zonas climatizadas y las estaciones Guangzhou, China, cuentan con sistemas de seguridad (Cervero, 2013a). Se clasifican según sus dimensiones en estaciones, terminales e intercambiadores, las dos últimas pueden ser amplios espacios de transferencia de tránsito interno y externo de la urbe (Levinson et al., 2002).
3. El punto pago y los autobuses, también son elementos que definen a los sistemas de transporte tipo BRT. El primero es un lugar dentro de la estación, creado con el fin de recaudar la tarifa del servicio previo al embarque mediante dispositivos digitales o manuales, reduciendo, así, el tiempo de demora en el abordaje a los autobuses.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

4. Los autobuses del sistema BRT se distinguen por la mayor capacidad de pasajeros y accesibilidad, múltiples puertas que funcionan simultáneamente, coordinación para el cobro anticipado de la tarifa, un amplio espacio interior, entre otras cualidades que aumentan la calidad del servicio (Levinson et al., 2003). Estas unidades poseen varias puertas con mecanismos de piso bajo para facilitar el ingreso de las personas, cuando las estaciones están localizadas en la acera, y un nivel elevado, cuando las estaciones están sobre plataformas. La mayoría de estos autobuses utiliza el diésel (combustible bajo en azufre) o electricidad, lo cual produce un menor impacto en el ambiente (Levinson et al., 2002; Hidalgo y Graftieaux, 2008; Cain et al., 2009; Cervero, 2013a).

Debido a las características de la demanda y de la infraestructura, en las ciudades operan diferentes tipos de autobuses. Por ejemplo, en Los Ángeles (California) funcionan buses de piso bajo; en algunas urbes latinoamericanas circulan los articulados de piso elevado (Levinson et al., 2003). Estos últimos pueden ser más económicos y con mayor capacidad de asientos, pero a nivel funcional tienen menor flexibilidad (Wright y Hook, 2010). La figura 3 muestra los cuatro componentes del sistema BRT de Quito.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO



Figura 3. Componentes del sistema BRT de Quito

Fuente: Elaborado por la autora

2.1.3. Conceptualización del sistema de transporte masivo de autobuses tipo BRT

El BRT es un sistema de transporte público masivo de autobuses de alta calidad (Weinstock et al., 2011; Deng y Nelson, 2012; Mejía-Dugand et al., 2013; Suzuki et al., 2014), que combina componentes como: la estaciones, zonas de pago antes del abordaje y corredores de circulación (Levinson et al., 2002). Inclusive para algunos autores las cualidades del sistema tipo BRT se asemejan a las de los ferrocarriles (Levinson et al., 2003, 2002; Hidalgo y Graftieaux, 2008; Wright y Hook, 2010; Weinstock et al., 2011; Mejía-Dugand et al., 2013), como ocurre con el corredor de uso exclusivo que permite que el transporte alcance una mayor velocidad y

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

seguridad vial (Levinson et al., 2003; Deng y Nelson, 2011; Mejía-Dugand et al., 2013) y el costo de implementación y mantenimiento es relativamente menor a los requeridos por los sistemas sobre rieles (Levinson et al., 2002; Cervero, 2013a; Wright y Hook, 2010; Weinstock et al., 2011). Adicionalmente, el sistema tipo BRT tiene una gran capacidad de adaptarse, de ahí que se considera un sistema adaptativo, y puede ajustarse a las medidas de ciudades con patrones de desarrollo disperso (Cervero, 2013a).

Para los propósitos de este estudio, se asume como BRT el sistema de transporte público masivo de autobuses sobre superficie que integra algunos componentes como las estaciones mejoradas localizadas en plataformas centrales, sistema rápido de cobro de tarifas antes del embarque, autobuses tecnológicamente avanzados y con mayor capacidad, carriles segregados y compartidos, que gracias a sus características de flexibilidad y calidad se adaptan a las ciudades en desarrollo.¹

2.2. Evolución de las estrategias de planificación orientadas al transporte público

El modelo de desarrollo urbano compacto, multifuncional, accesible, con facilidades peatonales, entre otras cualidades urbanísticas orientadas a potencializar el transporte urbano, se sustentó en los fundamentos de diseño urbano de las comunidades tradicionales y en las reflexiones sobre los planteamientos propuestos en Dinamarca, Suecia (Ibraeva et al., 2020), España y Londres (Furuseth, 1997).

La ciudad lineal, la ciudad jardín, *riverside*, entre otras tipologías, son algunos ejemplos sobre los cuales se fundamentó este modelo urbano. En Madrid, España, Arturo Soria planteó un proyecto emplazado a lo largo del corredor del sistema de tranvía dentro del área suburbana, rural, en 1911. Esta relación entre el transporte y la ciudad lineal, conocida así debido a su forma alargada, favoreció la conexión hacia la zona central; mientras que en el interior de esta barriada, la propuesta buscó relaciones de proximidad entre los equipamientos (colegios, academias, iglesias, tiendas de comestibles y de otros artículos de primera necesidad, talleres de varios oficios, fábricas, un gran parque de diversiones, restaurantes, teatros, velódromo y

¹ Hasta el momento resulta un desafío establecer una definición única de ciudad en desarrollo, por lo que se prefiere considerar únicamente las siguientes características que presentan estas urbes: la tendencia al crecimiento de los centros poblados hacia las zonas periféricas, bajos ingresos (United Nations, Department of Economic and Social Affairs y Population Division, 2019), crecimiento del parque automotor, disminución de servicios de transporte público (Poiani y Stead, 2015), e infraestructura que prioriza el desplazamiento motorizado (Cervero, 2013b).

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

otros diversos equipamientos de esparcimiento), huertas, jardines y el uso residencial (Collins, 1959).

La ciudad-jardín en Letchworth, Londres, propuesta por Ebenezer Howard (1903), es otro de los modelos urbanísticos que integra el transporte ferroviario con los núcleos de población, logrando así una adecuada accesibilidad regional con la metrópolis. Por otro lado, hacia el interior se buscó mantener una relación bidireccional entre la vivienda y los diversos usos del suelo: granjas (zona productiva), zonas de bosque, instituciones educativas, comercio, entre otros usos (Chueca, 1968; Franmpton, 1980).

En ciudades norteamericanas, Federic Law Olmsted, planteó que la infraestructura de transporte, los parques, los comercios, la industria, los equipamientos, los servicios y la vivienda se interrelacionen entre ellos como un sistema. Tales principios se pusieron de manifiesto en los planes comunitarios de Berkeley en 1866 y en la propuesta *riverside*, localizada a las afueras de Chicago (Christensen y Levinson, 2003).

Sobre la base de estas y otras experiencias, surge la reorganización de las ciudades norteamericanas, con el movimiento denominado nuevo urbanismo o planificación neotradicional. La propuesta está sustentada en cuatro líneas de acción: 1) arquitectónica (por el dominio de los elementos de diseño y escala); 2) social (densidad alta); 3) combinación de usos de suelo; 4) transporte (Boarnet y Crane, 2001), en las cuales se respaldan el Traditional Neighborhoods Development (TND por sus siglas en inglés), de Duany y Planter-Zuberck (1994) y el Transit Oriented Design or Development (TOD), más conocido en las ciudades de habla hispana como DOT de Peter Calthorpe (Furuseth, 1997). Ambos conceptos comparten la misma idea de comunidad, que según sus proponentes se logra con la incorporación de mezcla de usos de suelo y el desuso del vehículo privado (Boarnet y Crane, 2001).

El TND propone la creación de barrios autónomos en terrenos suburbanos y rurales, con límites bien definidos, con un tamaño adecuado para facilitar el desplazamiento peatonal (402 m o tres minutos de marcha a pie), con mezcla de usos (comercio, oficinas, colegios y viviendas), con diseño de espacio público y con localización estratégica de los edificios cívicos y públicos. El proyecto Seaside en Walton (Florida) ejemplifica algunos de los criterios propuestos en la estructura urbana de las comunidades tradicionales norteamericanas (Duany y Plater-Zyberk, 1994).

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Por otro lado, el DOT relaciona el diseño urbano y el transporte público. Este movimiento considera al peatón catalizador del desarrollo, por tal razón, su tamaño depende de las distancias que se pueden recorrer a pie (610 m o diez minutos caminando). Adicionalmente, propone otros principios:

- a) organización del crecimiento a nivel regional;
- b) localización estratégica del uso comercial, residencial, laboral, recreativo, cívico y los nodos intermodales;
- c) creación de redes peatonales como elementos de conexión a nivel local;
- d) promover una diversidad de viviendas respecto a su densidad, tipología y costo;
- e) preservar espacios ecológicos y espacios abiertos de recreación;
- f) convertir al espacio público en ejes visuales que direccionen a los peatones a los edificios emblemáticos y actividades del barrio;
- g) promover la renovación urbana (Calthorpe, 1993).

Un ejemplo DOT es el proyecto Laguna West en Sacramento, California. Este tipo de planteamiento se sintetizó en cinco dominios, con los que se pretendió caracterizar al entorno urbano. Cervero y Kockelman (1997) sugirieron tres elementos: la densidad, la diversidad y el diseño, conocidos como las 3D (Cervero, 2009). Otros autores ampliaron esta caracterización aún más y agregaron dos dominios del entorno urbano: los nodos intermodales y la accesibilidad regional (al centro de negocios de la ciudad) y local.

A pesar de que en América Latina no se empleó el término DOT para representar el desarrollo urbano que favorece al transporte, una propuesta similar se aplicó en la década de los sesenta. Fue específicamente en 1965 con el Plan Director de Curitiba, Brasil, que buscó canalizar el crecimiento ordenado de la ciudad, especialmente, a lo largo de los ejes estructurantes del transporte público, combinar los diferentes usos del suelo, intensificar la urbanización alrededor de las estaciones principales del BRT e incluir criterios de diseño peatonal con el fin de mejorar la calidad del espacio público (Suzuki et al., 2014).

2.3. El entorno urbano y sus relaciones con el modo a pie y el transporte público

La relación entre las características del entorno urbano, los factores sociales, individuales de los usuarios y los sistemas de movilidad sostenible, como la caminata y el transporte, ha sido

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

analizada mediante variados métodos estadísticos, escalas de medición de variables, umbrales de distancia a pie máxima, etc., con el fin de interpretar las particularidades de cada lugar y los diferentes tipos de transporte. La aproximación del estado del arte sobre este tema se aborda desde la conceptualización de los términos involucrados hasta llegar a los análisis estadísticos que demuestran la asociación entre ellos.

2.3.1. Entorno urbano, densidad, diversidad, diseño, accesibilidad al destino y accesibilidad a la estación: una aproximación conceptual

Un paso importante es definir los dos grandes conceptos que sustentan la argumentación, en este caso, entorno urbano (variables urbanísticas) y transporte tipo BRT. Para ello, se realiza una aproximación terminológica con el propósito de extraer aquello que representa la visión de estos dos componentes. Entre los términos que involucran a la ciudad se encuentran el entorno urbano o entorno edificado y los dominios densidad, diversidad y diseño. Según la RAE, el entorno es “el ambiente que te rodea”, y la unidad lingüística urbana alude a “perteneciente o relativo a la ciudad”. Ahondando en esta perspectiva, Rodríguez-Tarduchy y sus colegas (2011) amplían la noción de entorno urbano al considerarlo como el soporte para el desarrollo de una multiplicidad de actividades, englobando desde las funciones residenciales hasta intercambios económicos, organización administrativa, relaciones culturales y dinámicas de poder. La distribución espacial de estas actividades configura la red de espacios privados y espacios públicos. Por lo tanto, los aspectos que conforman el entorno urbano incluyen los usos del suelo, su intensidad, clases y disposición, y la red de espacios públicos (Lamíquiz, 2011).

En esta tesis, el entorno urbano se define como el conjunto de características morfológicas y físicas que delimitan la forma urbana, con sus dos ámbitos complementarios que son el espacio abierto, público, y el espacio parcelado, privado, próximo a las estaciones del sistema de transporte tipo BRT.

Las estrategias del uso del suelo influyen sobre el transporte (Xu et al., 2017), igual que las cualidades del tránsito inciden en el desarrollo del entorno urbano. Las características del entorno están representadas por dominios como: la densidad, la mezcla de usos de suelo, el diseño, la distancia al centro de negocios, la accesibilidad al destino y la accesibilidad a la estación (Ewing y Cervero, 2010).

La densidad, uno de los dominios, puede tener varias definiciones, en consecuencia, diversos indicadores. Se obtiene de la relación entre el número de personas, número de empleados,

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

equipamientos, comercios, facilidades o servicios por el área de estudio, obteniendo, así, diferentes tipos de densidad (Lamíquiz, 2011). A su vez, la población puede ser considerada a nivel personal (edad, sexo, posesión de licencia de conducir), de hogar (ingreso, propiedad de vehículo, vivienda, etc.) o en un ámbito más general (residentes, no residentes, población económicamente activa, personas con algún tipo de discapacidad, etc.), mientras que, el área depende de la escala de análisis (Sivakumar et al., 2006).

La relación más común es la densidad de la población, es decir, la asociación entre el número de personas residentes por unidad de superficie total o por unidad del área destinada a vivienda, aquella diferencia que se conoce como la densidad bruta o densidad neta, respectivamente (Forsyth et al., 2007). Incluso, algunos estudios solo introducen el número de unidades de vivienda o la densidad edificatoria; otros, en cambio, consideran la densidad de la actividad global por área, que suma el número de residentes, de empleados (Ewing y Cervero, 2010) y el de estudiantes (Lamíquiz, 2011).

La diversidad, entendida a partir de la mezcla de usos de suelo, se refiere tanto a la segregación horizontal (aislar los usos en subáreas dentro del mismo ámbito), como a la combinación de usos en un mismo edificio (mezcla vertical), que pueden estar en una misma manzana, en una misma trama (Pozueta et al., 2013) o alrededor de una estación (Estupiñán y Rodríguez, 2008). Esta variable se cuantifica en relación con el número de usos de suelo y se identifica su intensidad con el grado de representación de cada tipología. Para representar ambas formas de medir se han empleado los índices de entropía (Ewing y Cervero, 2010; Vergel-Tovar y Rodríguez, 2018) y el índice de mezcla de usos –la relación entre el número de usos del suelo presentes alrededor de la estación y el número total de usos posibles en la zona de análisis– (Estupiñán y Rodríguez, 2008). También las han representado con las variables cuantitativas número o tipologías de uso del suelo.

El diseño de los espacios públicos libres es aquel proceso consciente por el cual las áreas no construidas en los ámbitos urbanos (por ejemplo, el sistema de movilidad rodada, el sistema cívico peatonal y el mobiliario urbano) se modelan y se modifican con el fin de satisfacer ciertas necesidades humanas (Carrión y Erazo Espinosa, 2012; Zoido et al., 2013). Con el objeto de describir la forma y la configuración de la red se utilizan algunos indicadores e índices: la densidad de la red peatonal, densidad o promedio de conexiones (nodo de red) con más de tres conexiones, el promedio del tamaño de la manzana, número de predios por acera, presencia de

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

vegetación, seguridad vial que incluye número de segmentos con pases cebra, luminarias, señales de tránsito, zona de seguridad peatonal (Estupiñán y Rodríguez, 2008; Ewing y Cervero, 2010; Vergel-Tovar y Rodríguez, 2014, 2018), seguridad contra el crimen (Arellana et al., 2020), con las variables número de luminarias, presencia policial, transparencia en la envolvente, membrana o fachada.

La accesibilidad, dominio ligado a la movilidad puesto que se relaciona con el diseño del viario y el modo de transporte es la posibilidad de conectar un lugar con otro. Depende de una serie de factores como la situación física de los individuos, que influyen en los desplazamientos a pie, en el transporte público o privado; el tiempo de recorrido de un itinerario; la distancia; la estructura viaria; las características climáticas; los obstáculos existentes en el relieve (Zoido et al., 2013); un adecuado emplazamiento en relación con las redes de transporte; la diversidad de medios para acceder a los sistemas de transporte; la proximidad a las paradas; la calidad de las infraestructuras, entre otros aspectos (Rodríguez-Tarduchy et al., 2011). Es decir, un lugar puede o no ser accesible en función de la mayor o menor facilidad para llegar a él.

La accesibilidad puede ser regional y local; la primera se refiere a la conexión que mantiene la parada con el centro de actividades económicas de la ciudad, mientras que la segunda está asociada con el acceso a las estaciones (Ewing y Cervero, 2010). El mayor o menor nivel de accesibilidad es susceptible de medirse cuantitativamente y expresarse mediante estadísticas, etc. (Zoido et al., 2013). En los modelos, suelen representarse con la distancia entre la estación de origen y el centro de negocios o centralidad y la distancia a las estaciones o entre las mismas.

Otro término significativo para esta investigación es la movilidad que ha ido desplazando a la palabra transporte, cuyo énfasis está en los desplazamientos motorizados (Herce, 2009). Según la RAE, la movilidad es “la cualidad de movable”, a este concepto muy general, se incluye desplazamientos de personas y transporte de bienes producidos en un ámbito territorial y referidos a una duración determinada (Zoido et al., 2013). El desplazamiento de personas implica que estas se transporten por modos motorizados o no, ya que, las personas pueden transportarse a sí mismas. Por ello, la movilidad observada se clasifica por motivos de viaje y por modos de transporte (Herce, 2009); en este último grupo se consideran, específicamente, la caminata y el transporte público masivo tipo BRT.

La marcha a pie constituye la base de la movilidad y las relaciones urbanas en las ciudades. Se condiciona por la velocidad y la duración del desplazamiento; las características del contexto

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

natural (topografía, clima); la carga que transporta el caminante; la seguridad social; la seguridad frente a comportamientos antisociales o criminales; las características del entorno urbano (Pozueta et al., 2013) y sobre todo la configuración de la calle, elemento básico en la organización de la ciudad (Herce, 2009). En tanto, el viaje en transporte masivo público es una opción imprescindible para mejorar el tráfico de las urbes (Rodríguez-Tarduchy et al., 2011), ya que este modo de transporte puede mover a un gran grupo de personas de un lugar a otro –la conceptualización más específica de los sistemas de transporte tipo BRT se abordó en el apartado 2.1.3–.

La investigación asume el término movilidad como el desplazamiento de personas en dos modos de transporte complementarios: la caminata, como modo de acceso a pie a las estaciones BRT, y el transporte masivo público tipo BRT, que se mueve a través de una estructura viaria en un tiempo o distancia determinados.

2.3.2. La asociación entre las variables urbanísticas y los desplazamientos a pie

Tradicionalmente, la distribución espacial de la población y las características del entorno han sido consideradas determinantes en la forma urbana, en la estructura y en los patrones de viaje. A continuación, se revisan diversos hallazgos, con el propósito de responder a la siguiente inquietud: ¿cuáles son las características del entorno urbano que inciden en el viaje a pie a las estaciones de transporte público?

Se cree que, al menos, cinco aspectos del entorno urbano afectan el comportamiento del viaje, a lo cual se denomina las 5D. Cervero y Kockelman (1997) resumieron las características de diseño de vecindarios en las 3D (densidad, diversidad y diseño). Cervero et al. (2009) y otros autores ampliaron esta caracterización y agregaron dos dominios más: la accesibilidad al centro de negocios o al destino, y la accesibilidad local o a la estación.

Estos cinco dominios (5D) que representan las cualidades de los vecindarios próximos a las estaciones del transporte público y aquellos barrios que están lejos de ellas, condicionan los desplazamientos a pie (Lachapelle y Noland, 2012; Zhao y Wan, 2020). El nivel de significancia y el signo del coeficiente de la correlación de estas variables urbanísticas pueden variar en diferentes contextos.

Además de las características del contexto, la relación entre las variables urbanísticas y el viaje a pie depende de otras cuestiones como la escala de medición y el método de análisis

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

estadístico. Por ejemplo, en el modelo peatonal para ciudades de EE. UU., el signo del coeficiente de la densidad poblacional es positivo y significativamente modesto (Forsyth et al., 2007), la mayor significancia la adquiere la densidad de empleo (Forsyth y Oakes, 2014). Mientras, en otro contexto, la asociación entre la densidad y el número de viajes peatonales es estadísticamente significativa y positiva (Lamíquiz, 2011; Sung et al., 2014). En Beijing, China, la densidad de la población fomenta cualquier tipo de caminata (Zhao y Wan, 2020); en cambio, en Hong Kong, esta variable se asocia únicamente con la marcha a pie por actividades obligatorias (Lu et al., 2017).

Los estudios previos muestran que otras características urbanas –la mezcla de usos del suelo, el diseño y la conectividad– también influyen en el viaje a pie. La mezcla de usos de suelo de escala barrial, por ejemplo, se relaciona con los desplazamientos a pie cuando se localizan entre los 250 m y los 500 m del destino o del origen (Estupiñán y Rodríguez, 2008; Ewing y Cervero, 2010; Sung y Oh, 2011), y usos como el comercio y las oficinas alientan más la caminata (Forsyth y Oakes, 2014). Asimismo, el número de caminantes es mayor cuando los destinos están próximos a las estaciones del transporte público (Kwoka et al., 2015).

Los resultados del nivel de significancia de la combinación de uso del suelo como variable explicativa del viaje a pie presentan ciertas inconsistencias. Así, ciertos contextos se asocian positivamente con la caminata (Cervero, 2001; Sung et al., 2014; Zhao y Wan, 2020), hasta el punto de sugerir que los habitantes de vecindarios con diversidad caminan más del doble que en aquellos barrios con menor mezcla de usos (Christian et al., 2011). Sin embargo, esta misma variable en Hong Kong no tiene significancia al igual que la densidad de las intersecciones del viario (Lu et al., 2017).

El diseño urbano es otro factor que condiciona a los peatones, puesto que para caminar se requiere de la red peatonal (densidad), aceras amplias, bancos, iluminación adecuada, botes de basura, entre otras características (Estupiñán y Rodríguez, 2008). La calidad del material, la limpieza, lo estético formal e incluso los elementos de protección de las condicionantes climáticas influyen también en los caminantes (Estupiñán y Rodríguez, 2008; Jiang et al., 2012). Pero la relación de estos criterios no es casual, en un estudio de metadatos, Saelens y Handy (2008) sugieren que la decisión de caminar no depende únicamente de estas variables.

Varios autores encontraron que las características del espacio público percibido a pie de calle pueden beneficiar más la caminata que las variables urbanísticas medidas a macroescala como

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

la densidad y la diversidad (Arellana et al., 2020; Bivina et al., 2020). Los componentes empleados con frecuencia en formulaciones con datos a microescala son la acera y sus características: la continuidad, ancho, calidad y pendiente; la seguridad vial y contra el crimen; el confort (clima, estética de los edificios, tipo de cerramiento, la limpieza, la sombra y la presencia de árboles), y el atractivo que se refiere a la capacidad del peatón para participar en actividades comerciales o culturales durante su recorrido (Arellana et al., 2020).

La accesibilidad a los diferentes modos de desplazamiento constituye otro dominio que se relaciona con los peatones, el cual se mide en unidades de tiempo o de distancia (Estupiñán y Rodríguez, 2008; Ewing y Cervero, 2010; Forsyth y Oakes, 2014; Sung et al., 2014). La conectividad a las estaciones de autobuses y ferrocarril dentro de un umbral de 250 m se asocia de manera positiva con el tiempo de caminata, pero es negativa si la longitud a la estación es mayor a 500 m (Sung et al., 2014). Asimismo, en las zonas que tienen estaciones de bicicletas, la densidad peatonal se incrementa (Estupiñán y Rodríguez, 2008).

Los aportes sobre la asociación entre la densidad de la población y la caminata alrededor de las estaciones del sistema de transporte proporcionan resultados variados. Cervero (2001), por ejemplo, sugiere que la densidad de vivienda incrementa el número de peatones e ingresos a pie a las estaciones del BART del Área de San Francisco (California). Sin embargo, al examinar las salidas del sistema, la mezcla de usos de suelo adquiere mayor significancia en el modelo. En Denver (Colorado), la diversidad de usos incrementa la probabilidad de que las personas caminen o utilicen otros modos de desplazamiento distintos al vehículo privado (Kwoka et al., 2015).

En otros contextos urbanos, se cita el caso de Río de Janeiro, Brasil, el acceso a pie y en bicicleta a las estaciones de metro es directamente proporcional con la densidad residencial. Lo anterior difiere de los resultados que se obtuvieron en Delhi, India, donde la intensidad de los edificios daña el paisaje urbano, incomodando a los peatones, por consiguiente, la marcha a pie disminuye (Bivina et al., 2020). En el sistema de transporte público masivo tipo BRT, los hallazgos sugieren que la mayor densidad de la población se asocia con el menor número de viajes a pie (Rodríguez et al., 2009).

La caminata como modo de acceso al transporte público se ha evaluado a la luz de otros factores además de la densidad, como el tipo de sistema de transporte público o estación, las características socioeconómicas, la diversidad de usos del suelo, la accesibilidad, los modos

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

intermodales y el diseño del espacio público que incluye cualidades de acera, facilidades peatonales, presencia de cruces, seguridad y confort.

Así, en Sídney, una de las más grandes ciudades de Australia, las personas caminan más lejos hacia las estaciones del sistema ferroviario que hacia las paradas del bus convencional (Daniels y Mulley, 2013; Sarker et al., 2019). Esto sugiere que las iniciativas de accesibilidad puede que no sean las mismas para cada modo de transporte colectivo, o, quizás, las personas eligen el transporte ferroviario debido al tiempo, el costo y los destinos atendidos. Incluso, pueden presentarse diferencias a lo largo del corredor de un mismo sistema, por ello, la tipología de los nodos de conexión (parada común, terminal o intercambiador) y las características demográficas –la educación, la ocupación, el estrato social medio, etc.– tienen un impacto significativo sobre el acceso al metro de Nankín, China (He et al., 2018).

El análisis estructural desarrollado con variables urbanísticas medidas a mesoescala y microescala muestra que los componentes esenciales para explicar la accesibilidad a pie a las estaciones del metro de Delhi, India, son la seguridad, representada por el patrullaje policial; la disponibilidad de alumbrado público y las señales de tránsito; las características del itinerario peatonal (ancho, calidad y continuidad de la acera); la disponibilidad de instalaciones de cruce, pasos cebra, puentes peatonales y subterráneos; las aceras limpias y sombreadas. En contraste, los factores de la microescala (densidad de la población, densidad de empleo y diversidad de usos del suelo) presentaron relación inversa (Bivina et al., 2020).

Sun et al. (2016) sugieren que un entorno con mayor ocupación en planta baja, mejor conectividad y facilidades peatonales; promovería el fácil acceso peatonal e incrementaría el potencial de captar más pasajeros para el sistema del metro en Beijing, China. En Oregón y California, el diseño del viario, la seguridad vial y la delictiva son los factores que más influyen sobre la distancia de acceso peatonal al metro, a excepción del confort y el criterio estético que son elementos poco considerados (Weinstein et al., 2008). Sin embargo, alrededor de las estaciones del sistema tipo BRT se muestra que el viaje de acceso a pie está relacionado con los criterios de confort, tales como: protección solar; itinerarios atractivos, transitados e interesantes; la localización de los nodos de conexión y la densidad residencial de bajos ingresos económicos (Jiang et al., 2012).

En América Latina, Monteiro y Campos (2012), identificaron que la mayor densidad de edificios residenciales y de empleo; la diversidad de usos del suelo (servicios, comercio, ocio,

etc.); la presencia de elementos urbanos que generen facilidades en el recorrido peatonal y ciclista (como la disposición de la manzana, los cruces, la calidad de las aceras, los nodos intermodales, el alumbrado público, la vegetación, etc.); la seguridad vial medida por cruce cebra, pasos a nivel, rampas, señalización sonora y visual; la seguridad (sentido de protección); son los indicadores de evaluación del espacio urbano con mayor influencia en la decisión de los usuarios para acceder caminando o en bicicleta a las estaciones del metro de Río de Janeiro, Brasil. La presencia de facilidades peatonales (aceras anchas y de calidad), la densidad de la red, la diversidad de usos de suelo y el número de intersecciones de tres y cuatro conexiones; se asocian positivamente con el número de personas que caminan en el entorno inmediato del BRT de Bogotá, Colombia (Rodríguez et al., 2009).

2.3.4. Variables urbanísticas que influyen en el viaje en transporte público sobre rieles; relación entre el entorno urbano y el transporte público tipo BRT

Existen estudios que subrayan el éxito que en varias zonas ha tenido el transporte público diseñado bajo criterios DOT (Cervero, 2006). Sin embargo, los factores externos ejercen influencia no solo en estos espacios, pues los hallazgos obtenidos a partir del modelo de estimación directa muestran que estos influyen también en la demanda de las estaciones de un entorno que no posee enfoque DOT (Cardozo et al., 2010; Loo et al., 2010; Sohn y Shim, 2010; Choi et al., 2012; Chan y Miranda-Moreno, 2013). Por ello, en este apartado se revisan los aportes previos sobre la relación entre los dominios (densidad, diversidad, diseño, accesibilidad, nodos intermodales) con o sin cualidades DOT y el transporte público, especialmente del sistema BRT.

La densidad ha sido considerada significativa para explicar el número de pasajeros en tres tipos de transporte: en el metro, la densidad edificatoria, la densidad residencial (Lin y Shin 2008), densidad de empleo y densidad de población (Sohn y Shim 2010; Loo et al., 2010; Zhao et al., 2013; Choi et al., 2012; Chan y Miranda-Moreno, 2013); en el tren ligero, la densidad de la población y la densidad de empleo (Kuby et al., 2004; Lane et al., 2006; Cervero, 2006; Foletta et al., 2013) y la densidad global (densidad de población + densidad de empleo) en el BRT (Cervero et al., 2009; Cervero et al., 2010; Cervero y Dai, 2014). Pero, la relación puede ser o no significativa e incluso el signo del coeficiente puede ser negativo. Por ejemplo, la asociación entre la densidad de la población y el número de pasajeros de 156 estaciones del metro de Madrid (España) es negativa (Cardozo et al., 2010).

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Además, los hallazgos muestran que la densidad puede tener un comportamiento diferente dentro de un mismo estudio cuando se examinan los datos por grupos. Al separar la información de 46 estaciones del metro de Taipéi, Taiwán, por días, la densidad edificatoria se correlaciona con el número de pasajeros del metro de lunes a viernes, mientras que para la densidad poblacional esto ocurre los fines de semana. En otro ejemplo, el análisis independiente de los datos de origen y de destino sugieren que la densidad de la población puede ser una variable clave para predecir el número de pasajeros en la estación de origen y no en la del destino, pues en ellas la densidad del empleo adquiere mayor significancia (Choi et al., 2012).

Asimismo, el análisis de la distribución poblacional alrededor de las estaciones BRT de siete ciudades latinoamericanas presenta diferencias. En el modelo de demanda general, la densidad de la población es significativa y el coeficiente es positivo, sin embargo, su poder explicativo no es homogéneo en todas las ciudades que participan en el cálculo. En Guayaquil, la correlación entre este factor y el número de pasajeros es negativa, y no es significativa en Quito; ambas ciudades ecuatorianas. En cambio, en Curitiba, Brasil –que es considerada un referente de desarrollo orientado al sistema BRT (Cervero, 1998)– resulta positiva (Vergel-Tovar, 2019).

Además del dominio densidad, los hallazgos sugieren que el uso del suelo, el diseño, la conectividad interna, la conexión intermodal, las cualidades de la estación (Kuby et al., 2004; Lin y Shin, 2008; Loo et al., 2010; Choi et al., 2012; Chan y Miranda-Moreno, 2013; Foletta et al., 2013; Zhao et al., 2013) y la distancia al centro (Cardozo et al., 2010; Ewing y Cervero, 2010) influyen en la demanda de los sistemas sobre rieles. Así, la mezcla de usos de suelo tales como hoteles, universidades, hospitales (Foletta et al., 2013), bares, restaurantes (Choi et al., 2012), sitios de entretenimiento (Zhao et al., 2013), comercio (Loo et al., 2010; Sohn y Shim, 2010; Foletta et al., 2013), escuelas, combinación de uso de vivienda y comercio (Chan y Miranda-Moreno, 2013), centros comerciales (Zhao et al., 2013), actividades que se localizan entre los 500 m y 1000 m, puede incrementar el número de pasajeros. Vergel-Tovar y Rodríguez (2018), sugieren también que la mezcla del uso de suelo y los equipamientos institucionales ubicados a lo largo del corredor se asocian positivamente con la demanda de los sistemas de transporte tipo BRT.

Por el contrario, otros autores (Cardozo et al., 2010; Durning y Townsend, 2015; Liu et al., 2016) encontraron que el efecto de combinación de usos de suelo en el número de pasajeros

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

del transporte ferroviario urbano es insignificante, lo cual lleva a resultados inconsistentes y fraccionados.

En los estudios citados anteriormente se propone que, además del factor diversidad, el diseño urbano es otro domino motivador del uso de este tipo de transporte. Entre las variables del proyecto urbano predictivas están las intersecciones (o nodos de red) dentro de una distancia euclidiana que oscila entre los 400 m y 500 m (Choi et al., 2012; Foletta et al., 2013) –aunque este criterio en otras ciudades como Taipéi (Taiwán) mantiene una relación negativa (Lin y Shin, 2008)–, la longitud de la acera o densidad de la red (Rodríguez y Joo, 2004; Lin y Shin, 2008; Cardozo et al., 2010), el índice de rodeo (Cardozo et al., 2010) y los espacios para pasear (Kuby et al., 2004) en umbrales que oscilan entre los 500 y 800 m.

La conexión intermodal y la distancia al centro de negocio (CBD) son otros factores predictores en los modelos de demanda. La conexión intermodal se asocia de manera positiva, como ocurre con el número de paradas de buses (Kuby et al., 2004; Loo et al., 2010; Chan y Miranda-Moreno, 2013), las rutas de autobuses (Lin y Shin, 2008; Cardozo et al., 2010; Lee et al., 2013), el servicio alimentador (Sohn y Shim, 2010; Choi et al., 2012; Foletta et al., 2013), las conexiones con trenes (Foletta et al., 2013). La variable centro de negocio (CBD) mantiene una relación inversa, es decir, las estaciones que están cerca de la centralidad o en la zona próxima a ella registran mayor número de pasajeros que las que se encuentran en la periferia (Cardozo et al., 2010; Ewing y Cervero, 2010; Choi et al., 2012).

En general, los resultados del análisis de estimación directa reflejan que el desarrollo compacto, diverso y transitable, además de otras variables como la frecuencia (Chan y Miranda-Moreno, 2013; Foletta et al., 2013), competitivas con el tiempo de viaje del sistema (Choi et al., 2012), pueden incidir en la demanda. En la tabla 1 se resumen las variables que intervienen en los modelos de demanda de sistemas sobre rieles.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Tabla 1. Estudios sobre la relación entre entorno urbano y el número de pasajeros (metro, tren ligero) a escala de estación

Ciudad	Autores	Método	Muestra	Cálculo área servicio	Variables	Significancia	R2	
Metro								
Taipéi (Taiwán)	(Lin y Shin, 2008)	OLS (mínimos cuadrados ordinarios)	N=46	Distancia euclidiana	Densidad edificatoria	0,025	M1: 0,709	
					500 m	Densidad residencial	0,034	M2: 0,426
					Porcentaje vías de 4 intersecciones	0,014		
					Longitud de acera	0,015		
					Estación transferencia	0,018		
Seúl (Corea del Sur)	(Sohn y Shim 2010)	OLS (mínimos cuadrados ordinarios)	N=251	Distancia euclidiana	Empleo	0,0000	M1:0,634	
					500 m	Dummy - universidad	0,0380	M2:0,627
					Log_área_comercio	0,0000	M3:0,604	
					Densidad población neta	0,015	M4:0,600	
					Estación _transferencia	0,008		
					Alimentadores	0,0000		
					Dummy-terminal	0,0000		
Nueva York	(Loo et al., 2010)		N=80	Distancia euclidiana	Área total de comercio/residencia Hong Kong	0,00	M1: 0,74	
Hong Kong					500 m	Área Parqueo (Hong Kong)	0,00	M2:0,59
			N=468		Mezcla de usos (Hong Kong)	0,03	M3: 0,64	
					Estación Intercambio (ambas)	0,00		
					Comercio (Nueva York)	0,00		
					Población/piso (Nueva York)	0,00		
					Empleo/Pob (Hong Kong)	0,01		

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Ciudad	Autores	Método	Muestra	Cálculo área servicio	Variables	Significancia	R2
					Intermodal/bus competición (Nueva York)	0,00	
					Distancia al centro ciudad (Nueva York)	0,00	
Ciudad Especial de Seúl (Corea del Sur)	(Choi et al., 2012)	OLS (mínimos cuadrados ordinarios)	N=251	Distancia euclidiana	Densidad población origen	0,000	M1: 0,769
		Log Regresión		500 m	Densidad empleo destino	0,000	M2: 0,793
					Líneas de buses (intermodalidad)	0,000	M3: 0,772
					Intersecciones amigables para peatones	0,000	
					Comercial - destino	0,01	
					Universidad origen - destino	0,000	
Montreal	(Chan y Miranda-Moreno, 2013)	OLS (mínimos cuadrados ordinarios)	N=65	Distancia euclidiana	Ingreso económico (Inverso)	0,001	M1: 0,679
		Log-Regresión		500 m	Población (500 m)	0,00	M2: 0,552
				1000 m	Uso comercio (1000m)	0,00	
					Número de paradas buses	0,021	
					Terminal		
					Centralidad (Dist. esta central)	0,00	
Nanjing	(Zhao et al., 2013)	OLS (mínimos cuadrados ordinarios)	N=55	Distancia euclidiana	Población	0,0388	M1:0,727
(China)				800 m	Empleo	0,0021	M2:0,634
					Total comercio - oficinas (m ²)	0,0202	M3:0,979
					Centro de Negocios	0,0001	
					Número Educación	0,0499	

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Ciudad	Autores	Método	Muestra	Cálculo área servicio	Variables	Significancia	R2
					Número Entretenimiento	0,0416	
					Numero centros comerciales	0,0214	
					Líneas buses alimentadores	0,0001	
					Facilidades no motorizadas	0,0003	
					Trasferencia	0,0082	
Tren ligero							
9 áreas metropolitanas de EE.UU.:	(Kuby et al., 2004)	OLS (mínimos cuadrados ordinarios)	N=268	A través de la red	Empleo y densidad de la población a distancia caminable	0,0440	M1: 0,727
				804,67 m	Centralidad	0,0000	
					Conexión de buses	0,0000	
					Aeropuerto	0,0145	
					Frontera	0,0000	
					Zonas paseo - parque	0,0005	
					Clima	0,0005	
					Terminal	0,0006	
					Transferencia	0,0000	
Ciudades de EE.UU.	(Foletta et al., 2013)	OLS (mínimos cuadrados ordinarios)	N=67	Distancia euclidiana	Distancia de la estación más cercana	0,003	M1: 0,78
Seattle (Washington)				402,36 m	Residencial	0,003	M2: 0,79
Portland (Oregón)					Venta minorista	0,000	M3:0,73
Tacoma (Washington)					Accesibilidad a la actividad	0,000	
					Hotel	0,050	
					Universidad (3 modelos)	0,000	
					Tamaño de centro	0,000	

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Con base en la evidencia sobre el entorno urbano y la demanda del sistema BRT, se puede afirmar que estos aspectos están relacionados (Rodríguez, 2008; Cervero et al., 2010; Vergel-Tovar y Rodríguez, 2018; Estupiñán et al., 2021). La densidad alrededor de los carriles exclusivos, la conexión intermodal (paradas de ferrocarril) y el nivel de servicio (frecuencia de los buses BRT y los alimentadores); se asocian positivamente con los pasajeros de 69 estaciones del BRT de Los Ángeles (California), las cuales al ser controladas con otras características del BRT consiguen un $R^2 = .942$ y $F= 129,011$ (Cervero et al., 2010).

También en América Latina, los análisis estadísticos proporcionan evidencia sobre la relación de las variables urbanísticas y la demanda de los sistemas BRT. Estupiñán y Rodríguez (2008), manifiestan que las variables como: las facilidades para caminar, el soporte del sistema (número de buses BRT) y la percepción de seguridad mantienen una correlación positiva con los ingresos registrados en 68 paradas del BRT de Bogotá, Colombia. Su modelo alcanza un $R^2 = .45$ y un $F= 55,16$, con datos recopilados dentro de la distancia máxima peatonal de 250 m y 500 m.

En el BRT de Quito, Ecuador, las estaciones localizadas en la zona central con mezcla de usos de suelo y densidad de red peatonal registran mayor número de usuarios en comparación con aquellas alejadas del CBD que tienen pocas actividades en el entorno próximo. Estas variables predictivas junto con la densidad de población (sin nivel de significancia, pero que controla a las demás) logran un coeficiente $R^2 = .66$. El estudio emplea el umbral de 300 m para las estaciones y 600 metros para las terminales (Núñez, 2017).

Con datos de las dos ciudades anteriores y otras más (en total 120 estaciones), Vergel-Tovar y Rodríguez (2018), muestran que el número de usuarios BRT se asocian de manera positiva con las terminales, los multifamiliares en altura, la mezcla de actividades, los usos institucionales y el soporte peatonal; a diferencia de la residencia de un piso ubicada lejos del CBD y la vivienda informal que tienen relación inversa. Al emplear cuatro factores, los autores logran un $R^2 = .717$ en el primer modelo y un $R^2 = .695$ en el segundo, con nueve clústeres. Para el área de servicio se utiliza el umbral de 250 metros (estaciones) y 500 metros (terminales).

En general, los hallazgos muestran que el número de pasajeros BRT se asocia con la mezcla de usos de suelo (Cervero y Dai, 2014; Núñez, 2017; Guzmán y Gómez, 2021), sobre todo, los usos institucionales (Vergel-Tovar y Rodríguez, 2018), el diseño orientado para los peatones (Estupiñán y Rodríguez, 2008; Vergel-Tovar y Rodríguez, 2018), la conexión intermodal

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

(Cervero et al., 2010; Suzuki et al., 2014; Guzmán y Gómez, 2021) y la distancia al CBD (Vergel-Tovar y Rodríguez, 2018). Las variables internas también son un soporte para el sistema BRT, tal como la frecuencia de los buses BRT y alimentadores (Estupiñán y Rodríguez, 2008; Cervero et al., 2010). En la tabla 2 se describen los modelos de demanda del sistema de transporte tipo BRT.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Tabla 2. Descripción de los modelos de demanda del sistema de transporte tipo BRT

Ciudad	Autores	Método	Muestra	Cálculo área servicio	Variables	Significancia	R2		
BRT									
Los Ángeles (California)	(Cervero et al., 2009)	OLS (mínimos cuadrados ordinarios)	N=69	Distancia euclidiana	Densidad población	0,0000	M1: 0,952		
					804,67 m	Densidad (empleo+ población) carril exclusivo		0,02	
						Número de trenes diarios cercano al carril exclusivo		0,000	
Bogotá (Colombia)	(Estupiñán y Rodríguez, 2008)	Momentos generalizados (GMM)	N=68	Distancia euclidiana	Factor 1: soporte para caminar	0,001	M1: 0,45		
					250 m	Nivel de servicio (Número buses BRT)		0,01	
						Factor 3: seguridad y protección (cualitativa)		0,01	
Ciudades de América Latina	(Vergel y Rodríguez, 2018)	Log- Regresión	N=68	Distancia euclidiana	Terminal	0,001	M1: 0,717		
					250 m estaciones	Usos Suelo BRT: multifamiliar.mezcla		0,05	M2: 0,695
					500 m terminales	Residencia baja alejada CBD (-)		0,01	
						Entidades Públicas		0,01	
						Vivienda asequible e informal		0,05	
						Área patrimonial con uso institucional		0,001	
						Área institucional. alta actividad. mezcla.			
	Amigable peatón	0,001							

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Además de las variables predictoras, otro aporte importante de los estudios previos, que introducen a la reflexión, es la implementación del modelo de estimación directa *Direct Ridership Model* (MRD), el cual ha facilitado el análisis de la demanda de los sistemas de transporte. El método consta de tres pasos: la delimitación del área de servicio o superficie de captación de demanda, diferenciado por los modos de acceso antes de que los usuarios aborden (Chu, 2004); el análisis y determinación del conjunto potencia de componentes predictivos o cálculo de las variables urbanísticas en el entorno próximo; y el modelo de regresión (Cardozo et al., 2010).

El primer paso, la delimitación del área de análisis, consiste en calcular el área de servicio o zona de captación de la demanda de los usuarios que acceden a pie a las estaciones. Este procedimiento consta, a su vez, de dos pasos: establecer la forma de medición del punto máximo de captación de la demanda de la estación y seleccionar el umbral de distancia máxima peatonal (Cardozo et al., 2010). La medición de la distancia peatonal (punto máximo de captación de usuarios) se basa en medir en función de una métrica euclidiana o siguiendo el trazado de la red; lógicamente, este último es el que más se ajusta a la realidad (Upchurch et al., 2004; Cardozo et al., 2010), sobre todo cuando se analizan aquellos tejidos urbanos en donde la forma de la red es más orgánica o irregular. Ambas distancias se pueden calcular con las funcionalidades SIG, en el primer caso, con GIS *buffering commands* y, en el segundo caso, con GIS *network analyst*.

Una vez seleccionada la técnica de medición de la distancia a pie, se escoge su umbral máximo (que debe ser justificado en términos de demanda y la predisposición que tiene el usuario para caminar hacia las estaciones). La mayoría de las investigaciones anglosajonas aceptan medidas estándares alrededor de las estaciones sobre rieles, que corresponde a un rango entre los 400 y los 800 metros (Calthorpe, 1993). En el análisis de demanda de sistemas sobre rieles establecen una distancia estándar de 0,25 millas –unos 400 metros– (Guerra y Cervero, 2013); en España, entre 300 y 800 metros (Cardozo et al., 2010) que es uno de los pocos estudios en los que sus autores calibran la distancia recorrida a pie, con el fin de que el modelo adquiera un mayor poder explicativo.

En urbes latinoamericanas, los estudios de MRD de sistemas BRT asumen una longitud estándar de 250 metros para las paradas y 500 metros para las terminales, siguiendo a Estupiñán y Rodríguez (2008) y Vergel-Tovar y Rodríguez (2018), quienes sugieren estas distancias sobre

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

el hecho de que los resultados del análisis de demanda no presentan diferencias significativas al cambiar el umbral del cálculo del área de servicio (Guerra y Cervero, 2013). Sin embargo, en el apartado de aportes y limitaciones de su investigación, Vergel-Tovar y Rodríguez (2014) manifiestan la necesidad de emplear un mayor umbral de distancia máxima peatonal en los futuros análisis de demanda de los sistemas BRT en estos contextos.

Establecido el procedimiento de medición y el umbral de distancia máxima a pie, el siguiente paso del modelo es delimitar el área de captación de la demanda con el apoyo de las herramientas SIG. Dentro de estas áreas el modelo sugiere: analizar, determinar y categorizar en grupos las variables sociodemográficas, las cualidades del entorno urbano, la accesibilidad e interacción entre varios modos de transporte, entre los posibles componentes predictivos (Chu, 2004). Ello se realiza mediante la superposición de capas de información (Cardozo et al., 2010).

Por último, el MRD utiliza la regresión para estimar la demanda del sistema de transporte en función de las características del entorno urbano. Este estadístico relaciona la variable dependiente número de ingresos de usuarios a las estaciones de transporte y las variables independientes población, empleo, medidas de uso de suelo, ingresos familiares, la distancia de la parada más cercana, la distancia al destino, la densidad del viario, el número de autobuses, la velocidad de los buses BRT, la frecuencia, las conexiones intermodales, carril exclusivo (Cervero et al., 2010), presencia de aceras, facilidades peatonales, cruces y tamaño del bloque (Chu, 2004; Vergel-Tovar y Rodríguez, 2018).

Como se muestra en párrafos anteriores, el procedimiento del modelo de estimación directa implica un rápido cálculo, lo que podría representar un bajo coste; además, sus resultados son fiables (Cervero et al., 2009). Por ello, este modelo es el más utilizado para los análisis de demanda del sistema de transporte, de hecho, existen numerosos estudios MRD para estaciones del metro (Lin y Shin, 2008; Cardozo et al., 2010; Cervero et al., 2010; Choi et al., 2012; Loo et al., 2010; Sung y Oh, 2011; Zhao et al., 2013), para estaciones de tren ligero (Kuby et al., 2004; Foletta et al., 2013) y en menor cantidad para estaciones BRT (Estupiñán y Rodríguez, 2008; Cervero et al., 2010; Vergel-Tovar y Rodríguez, 2018).

A pesar de las bondades que presenta el MRD, no se aplica en todos los casos de análisis de demanda de transporte debido a dos limitaciones importantes en el proceso; una de ellas es que a diferencia de los modelos de tráfico tradicional, el MRD no incluye variables que representen

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

características de viaje en vehículo privado (por ejemplo: coste de viaje, tiempo de viaje); la segunda guarda relación con el número de variables a incluir en el modelo, pues su cantidad es restringida debido a que se analiza a nivel de estación, lo que reduce el número de individuos en la muestra (Cervero, 2006).

Controlando estas limitaciones, el MRD puede resultar una herramienta básica de estimación empírica de demanda de tránsito (Cervero et al., 2010), ya que, con la información que proporciona a los gestores, tanto del territorio como del transporte, se pueden realizar pruebas de sensibilidad de las variables explicativas. Este proceso es clave para un adecuado funcionamiento del transporte. Por otra parte, la estimación directa del número de pasajeros en función de las características del entorno urbano encaja perfectamente cuando las estaciones registran la mayor cantidad de accesos a pie o en bicicleta (Cardozo et al., 2010).

CAPÍTULO 3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

En el presente capítulo se definen la pregunta, los objetivos y las hipótesis de la tesis, que son la guía para explicar la forma en que las variables urbanas y sociodemográficas, además de otros factores, influyen sobre el número de pasajeros registrados en el sistema BRT de Quito. Estos objetivos surgen de las limitaciones encontradas en los estudios previos. Antes de describir los vacíos identificados en la literatura sobre la relación que mantienen con factores externos, como las variables urbanísticas y las características del servicio de transporte público, con la caminata y cómo estos elementos se relacionan con el número de usuarios del sistema de transporte público BRT y la distancia a pie, se explica una particularidad del presente estudio. Se trata del motivo por el cual la densidad, la diversidad, el diseño, la accesibilidad y los nodos intermodales, dominios propuestos por el DOT, adquieren protagonismo en esta investigación; por qué se propone calcular las variables urbanísticas y sociodemográficas dentro del área de captación de las estaciones del sistema BRT e identificar el umbral de distancia máxima de recorrido a pie a las estaciones del tránsito BRT y no considerar lo establecido por los estudios que anteceden a esta investigación.

Los factores del desarrollo orientado al transporte (DOT) figuran en esta investigación debido a que los resultados sobre las tipologías de desarrollo urbano de siete ciudades de América Latina, entre ellas Quito, sugieren que las características del entorno urbano próximo a las estaciones del sistema de transporte público masivo tipo BRT se clasifican en dos grupos: el entorno urbano, que posee atributos coherentes con los principios DOT, y otros contextos que no conservan la naturaleza de actividades que lo promueven (Rodríguez, 2013). Por ello, se propone desarticular al entorno urbano con base en los elementos DOT para facilitar, así, el análisis de las implicaciones de estos factores sobre los dos modos de transporte.

Para la delimitación de la zona de análisis de las variables urbanísticas, se propone emplear las áreas de captación de la demanda de las estaciones BRT, puesto que es un sistema de transporte que está en rápido crecimiento, sobre todo en ciudades en desarrollo, por todas las cualidades citadas en el apartado de conceptualización. A pesar de ello, pocos son los aportes que examinan la relación entre el entorno urbano y la demanda del BRT. La mayoría de las investigaciones previas se centran en estaciones de sistemas ferroviarios que están rodeadas de un contexto con características DOT y que operan en países desarrollados, lo cual supone un

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

vacío en la literatura respecto a cómo y en qué medida las cualidades del entorno pueden influir en el comportamiento de los viajes BRT.

Además, se plantea analizar también el viaje a pie alrededor de las estaciones del sistema BRT por ser este un modo complementario a los sistemas BRT que, además, se caracteriza por ser accesible, sostenible y ecológico (Bivina et al., 2020). Permite ir de un lugar a otro e interactuar con el entorno sin necesidad de ningún otro instrumento más que el cuerpo humano y la energía para moverlo (Pozueta et al., 2013).

Otro aspecto que también se considera es la selección de la distancia máxima, a pesar de que este paso es importante en el método de estimación directa (MRD), los estudios emplean longitudes estándares anglosajonas que podrían no representar la realidad en otro contexto. Por ejemplo, esto ocurre en los análisis de demanda BRT de ciudades latinoamericanas que utilizan umbrales de 250 metros para estaciones y 500 metros para terminales (Estupiñán y Rodríguez, 2008; Vergel-Tovar y Rodríguez, 2018), sin considerar la distancia peatonal que los usuarios están dispuestos a recorrer para acceder a este tipo de sistema de transporte.

En resumen, esta revisión de la literatura sobre la relación entre el contexto urbano y el viaje a pie apunta a que las personas son más propensas a caminar en vecindarios con determinadas cualidades urbanísticas; no obstante, la mayoría de los estudios corresponden a análisis con datos de ciudades con características de densidad, diversidad, estrato social y tipos de transporte; diferentes a los que presenta una urbe de América Latina. A continuación, se detallan algunos elementos que parecen haber quedado inconclusos.

La generalidad de los estudios sobre los desplazamientos peatonales se ha realizado en contextos diferentes a los de América Latina, restando, así, atención a estas urbes, que la merecen debido a las especificaciones que presentan. Los análisis de la relación entre el comportamiento a pie y el entorno urbano se han desarrollado alrededor de destinos como: la tipología residencial, el trabajo, etc.; pero en menor grado en el contexto inmediato de las estaciones de los sistemas de transporte público, sobre todo del BRT que es uno de los modos colectivos con mayor vinculación con el espacio público. Finalmente, se sabe poco sobre qué factores del entorno urbano están asociados con la distancia de acceso a pie a las estaciones de transporte público tipo BRT.

Respecto al análisis del número de pasajeros del sistema de transporte público, ferroviario y BRT se identifican los siguientes elementos claves: la mayoría de los estudios se ha centrado

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

en los análisis de las estaciones del sistema ferroviario urbano, mientras que los estudios de demanda del sistema BRT son muy escasos.

Gran parte de las investigaciones han empleado un umbral de distancia peatonal máxima estándar, según el criterio de que en el ajuste del modelo las variaciones son mínimas entre uno y otro rango (Guerra y Cervero, 2013). Esto se contradice con los hallazgos de los estudios que muestran que la localización de la variable es relevante para determinar su significancia. Adicionalmente, se ha utilizado la distancia euclidiana, en cuanto al método de medición del itinerario a pie, para calcular el área a través de *buffers*, en lugar de medir la distancia a través de la red que define las zonas mediante isócronas, las cuales tienden a semejarse a los *buffers* únicamente cuando el trazado es reticular, pero son distintas en una estructura vial irregular.

En varios estudios se han incluido las paradas, terminales y estaciones de transferencia, sin considerar que entre ellas existen diferencias. Las terminales y estaciones de transferencia son peculiares no solo porque tienen mayor número de pasajeros (Kuby et al., 2004; Vergel-Tovar y Rodríguez, 2018), sino porque funcionan como nodos intermodales; es decir, los usuarios pueden acceder a través de buses tipo (intercambiadores), taxis, etc. Puesto que el modelo de estimación directa está diseñado para calcular la demanda de aquellas paradas donde el mayor número de ingresos se realiza a pie, las terminales y las estaciones de transferencia no deberían considerarse.

Los hallazgos sobre la demanda del sistema BRT en función de las características de la morfología urbana muestran que existen correlaciones. Sin embargo, surge la inquietud alrededor de si estos resultados podrían ajustarse a las políticas públicas de ciudades donde predomina un modelo disperso, que se caracteriza por la desigual naturaleza de las actividades predominantes, por la generalización de los fenómenos de rururbanización y suburbanización, entre otros. Por todo ello, llama la atención el papel que podrían desempeñar aspectos como: la densidad, la diversidad y el diseño del espacio público; así como otros componentes de las áreas consolidadas de ciudades en desarrollo para predecir el número de usuarios del sistema BRT.

3.1. Pregunta, objetivos e hipótesis

Los estudios empíricos sobre la estimación de la demanda del sistema ferroviario en función del entorno urbano confirman que existe relación entre ellos, lo cual sugiere algunos criterios de diseño orientados al transporte. A pesar de ello, debido a que se registran pocos hallazgos al respecto, es difícil definir si estos mismos principios de planificación urbana son aplicables en el entorno inmediato de las estaciones de los sistemas BRT. Este trabajo pretende ampliar el conocimiento de la literatura existente sobre la base de la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la relación entre el entorno urbano y el transporte tipo BRT? ¿Qué influencia tiene el entorno urbano sobre el desplazamiento a pie?

- **Objetivo general (OG)**

Examinar los factores externos y las características del servicio de transporte en el entorno inmediato a las estaciones del sistema de transporte masivo tipo BRT en la ciudad de Quito, Ecuador, dentro de un umbral de distancia caminable real (600 metros aproximadamente); que influyen en dos modos de transporte: el BRT y el viaje a pie.

- **Objetivos específicos (OE)**

Del objetivo general se derivan los siguientes objetivos específicos:

- Etapa de recolección de datos

OE1. Diferenciar las limitaciones y aciertos de los hallazgos previos sobre la relación entre las variables urbanísticas y los dos modos de transporte, el tipo BRT y el viaje a pie.

OE 2. Caracterizar el entorno socioespacial de las estaciones del BRT de Quito mediante la generación y el análisis de una base de datos de fuentes secundarias (población, uso del suelo, red peatonal, entre otros) y de fuentes primarias (uso del suelo a pie de calle; uso del suelo vertical; altura de los pisos; ancho, material y estado de la acera; zona de seguridad; facilidades para bicicletas; facilidades peatonales; transparencia en planta baja, entre otros datos).

- Etapa de Análisis

1. OE 3. Establecer el umbral de distancia máxima que están dispuestos a caminar los usuarios del sistema BRT en la ciudad de Quito, Ecuador.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

2. OE 4. Identificar las cualidades del usuario del transporte BRT y las características de su viaje mediante la aplicación de una encuesta de intercepción.
3. OE 5. Analizar la relación entre la densidad, la diversidad, el uso del suelo, el diseño, la accesibilidad al centro de negocio, las características socioeconómicas y la distancia de acceso a pie a las estaciones; mediante la aplicación del análisis estadístico.
4. OE 6. Determinar de forma cuantitativa la asociación entre la densidad, el uso del suelo, el diseño, la accesibilidad, las características modales y el uso del sistema de transporte tipo BRT de Quito, a través de la utilización de técnicas estadísticas como la regresión lineal múltiple.
5. OE 7. Tipificar el entorno urbano próximo a las paradas del Sistema de Transporte tipo BRT sobre la base de los criterios de densidad, diversidad (equipamientos, comercio, servicios de usos públicos y privados), diseño (facilidades peatonales, elementos de control de tráfico y seguridad, densidad del viario); mediante el uso de técnicas estadísticas como la de conglomerados.

- **Hipótesis general (HG)**

La densidad, la mezcla de usos del suelo, el diseño y la accesibilidad al destino, pueden influir sobre el número de pasajeros que ingresan caminando a las estaciones del sistema BRT en la ciudad de Quito, Ecuador, y sobre el desplazamiento a pie, cuando la distribución de las actividades se encuentra dentro de un umbral de distancia máxima a pie de 600 metros.

- **Hipótesis secundarias (HS)**

HS 1. La distancia máxima que los usuarios del sistema tipo BRT de Quito están dispuestos a caminar puede superar los umbrales máximos establecidos en estudios previos de ciudades latinoamericanas.

HS 2. El sistema de transporte público tipo BRT en la ciudad de Quito, Ecuador, puede contribuir a mejorar la movilidad de los ciudadanos, sobre todo atendiendo a la composición de grupos de la población económica activa, con un nivel de educación superior que se desplaza para realizar actividades necesarias, como trabajo y estudio.

HS 3. Los pasajeros que ingresan caminando a las estaciones BRT pueden recorrer una mayor longitud cuando el vecindario cumple ciertas características de densidad, diseño, sobre

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

todo cuando vial, y cuando existe un mayor nivel de servicio del transporte tipo BRT respecto a la accesibilidad regional a través de los corredores exclusivos.

HS 4. A la hora de calcular la demanda del sistema BRT en función del entorno urbano, en un modelo de planificación que se caracteriza por centralizar los servicios y equipamientos y por concentrar el uso residencial en las zonas suburbanas; la densidad de la población residente puede desempeñar un papel menos importante que las demás variables. Mientras que la mezcla de usos del suelo, las aceras amplias, la densidad del viario y la distancia al centro de negocios, pueden tener mayor peso explicativo para interpretar o predecir la demanda del BRT.

HS 5. En ciudades en las que el sistema tipo BRT se ha implementado en una zona consolidada con características espaciales dispersa, el desarrollo del contexto inmediato a sus estaciones puede reflejar criterios diversos, unos que se ajusten a las cualidades DOT y otros que presenten un desarrollo más espontáneo.

CAPÍTULO 4. ASPECTOS METODOLÓGICOS

En este capítulo se presenta la metodología empleada en esta investigación doctoral. En los apartados que se encuentran a continuación se describen, en términos generales, el proceso de recolección y procesamiento de datos, así como las decisiones metodológicas relevantes. De igual modo, se precisan la conceptualización y los resultados de la aplicación de los métodos para la recolección de la data, como: la encuesta, el rastreo y la ficha técnica de evaluación del espacio urbano, Pedestrian Environmental Data Scan (PEDS).

4.1. Descripción de la metodología

En términos generales, la metodología aplicada se estructuró en tres pasos: reconocer, analizar y relacionar o evaluar. En el primero, se delimitó la zona de análisis, que es, precisamente, donde se recolectaron los datos. Para la delimitación del área de servicio de las 42 estaciones del sistema BRT de Quito, Ecuador, se aplicaron dos métodos: el de rastreo, con el fin de establecer el umbral máximo de distancia a pie a las estaciones² y el de análisis de la red Network Analyst, herramienta de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), con la que se midió la distancia del itinerario peatonal. Esta técnica de medir la distancia a pie es la que más se ajusta a la realidad (Gutiérrez y García-Palomares, 2008). En la figura 4, se muestran los dos procesos de medición: la distancia euclidiana y la medida a través de la red.

² Se trata del umbral de distancia crítica máxima, que es la distancia que las personas están dispuestas a caminar para llegar a las estaciones del sistema BRT.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO



Figura 4. Comparación de la delimitación con técnica de la distancia medida en línea recta y la distancia medida a través de la red

Fuente: Elaborado por la autora

Una vez establecido el umbral y la técnica de medición, se calculó el área de servicio o zona³ de captación de la demanda. Luego, se codificaron los segmentos⁴ de red localizados dentro de esta delimitación como se muestra en la figura 5.

³ El área de servicio de la red es una región que cubre todos los segmentos de red que están dentro de una impedancia especificada que puede ser un tiempo o distancia; esta se calcula con el apoyo del SIG mediante la herramienta Network Analyst.

⁴ El arco de red es el segmento de vía de comunicación que une los nodos para formar un tramo, ambos componentes se suelen asociar para formar un grafo, teoría que tienden a utilizar en el análisis del transporte (Herce, 2009; Zárate, 1996).

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

El último paso, relacionar/evaluar, consistió en elaborar los modelos de demanda con el fin de explicar la relación entre la variable dependiente y las predictivas mediante análisis estadísticos. La figura 6 recoge los pasos utilizados en la metodología.

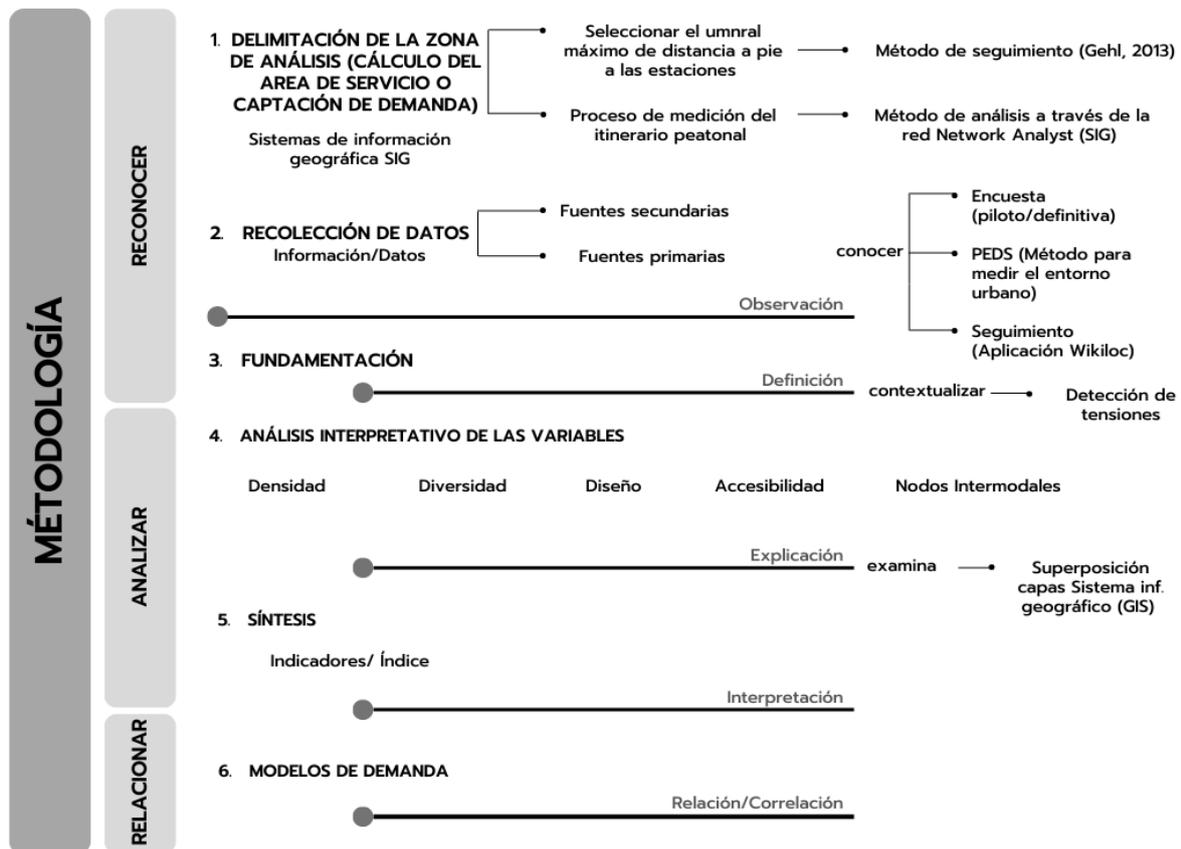


Figura 6. Metodología de Investigación

Fuente: Elaborado por la autora

4.2. Métodos de recolección de la data alrededor de las estaciones del BRT de Quito

4.2.1. Método de recopilación de datos: rastreo o seguimiento (OE 2)

El objetivo 2 (OE 2) consiste en establecer el umbral de la distancia máxima que están dispuestos a caminar los usuarios del sistema BRT en la ciudad de Quito, Ecuador. Para ello se aplicó el método de *tracking* o seguimiento que implica en perseguir, sin molestar ni ser inoportuno, a las personas (Gehl y Svarre, 2013). En esta investigación se seleccionó a los usuarios de manera aleatoria y se dio seguimiento durante todo el itinerario peatonal, el mismo que empezó al salir de la estación (origen) hasta llegar al primer destino.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

El método tiene cuatro etapas: 1) diseñar los instrumentos de campo; 2) capacitar a los auditores sobre las herramientas; 3) aplicar el plan piloto; 4) ejecutar la herramienta en las 42 estaciones.

Se elaboraron dos instrumentos de campo: un cuadro Excel para registrar los datos generales del usuario del BRT y un plano base con los segmentos codificados dentro del área respectiva de servicio, para que el auditor identifique los segmentos de la red por los cuales caminaron los usuarios. La figura 7 refleja un itinerario peatonal recorrido con los segmentos de red codificados.

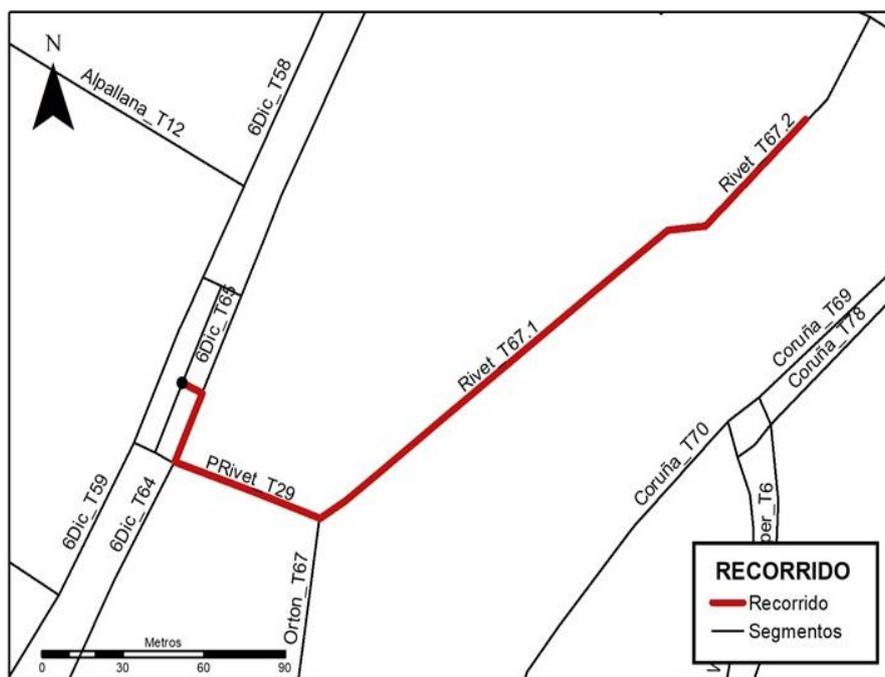


Figura 7. El mapa del itinerario con los segmentos del viario codificados

Fuente: Elaborado por la autora.

El archivo Excel incluye dos hojas de trabajo; en una de ellas se registra el resumen de las rutas a pie de los usuarios y en la segunda pestaña se encuentran los códigos de los segmentos del viario del área de servicio seleccionados por estos. La tabla 3 muestra el cuadro Excel con la información general de los usuarios: la edad, el género, la distancia recorrida, el tiempo de desplazamiento y la tipología de uso del suelo (primer destino).

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Tabla 3. Instrumento para registrar la información de los recorridos a escala de segmento

No.	Cod. Segmento	Temperatura	No_Personas	Tiempo (min)	Distancia (m)	Altitud mínima (m)	Altitud Máxima (m)	Nombre_Destino	Tipo
1	6 Dic_T63	18	1	6	511	2841	2863	Parada de Bus	T
1	R Rivet T29	20	1	6	600	2857	2865	Cabinas	C
1	Rivet T67.7	20	1	4	350	2846	2861	Residencia	R
1	Rivet T67.2	20	1	5	440	2858	3872	Consultorio Dental "Cazadent"	S
2	6Dic_T64	20	1	2	170	2846	2850	Peluquería "Barbershop"	C
2	Alpallana_T11	20	2	4	320	2843	2854	Residencia	R
3	6Dic_T65	17	1	6	480	2823	2862	Residencia	R
3	Orton_T67	17	1	2	210	2781	2847	Residencia	R
4	J_6dic_T6	17	1	19	1460	2838	2850	Colegio "Consejo Provincial"	E
5	T76	17	1	6	511	2841	2863	Bus	T
6	J_ESola_T64	17	1	6	600	2857	2865	Residencia	R

Fuente: Elaborado por la autora

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

En la segunda etapa, se capacitó a los auditores sobre el funcionamiento de la aplicación Wikiloc.⁵ El proceso de aprendizaje se desarrolló mediante la modalidad de taller poniendo en práctica en el aula. Posteriormente, se aplicó el plan piloto en diez estaciones (se seleccionaron las paradas consideradas con mayor riesgo de siniestros delictivos), todo el proceso fue supervisado por la investigadora. La figura 8 muestra una ruta peatonal en la que se puede observar en comentarios las características del usuario del sistema (la composición del grupo de edad y el género) y el nombre y la fotografía del destino.

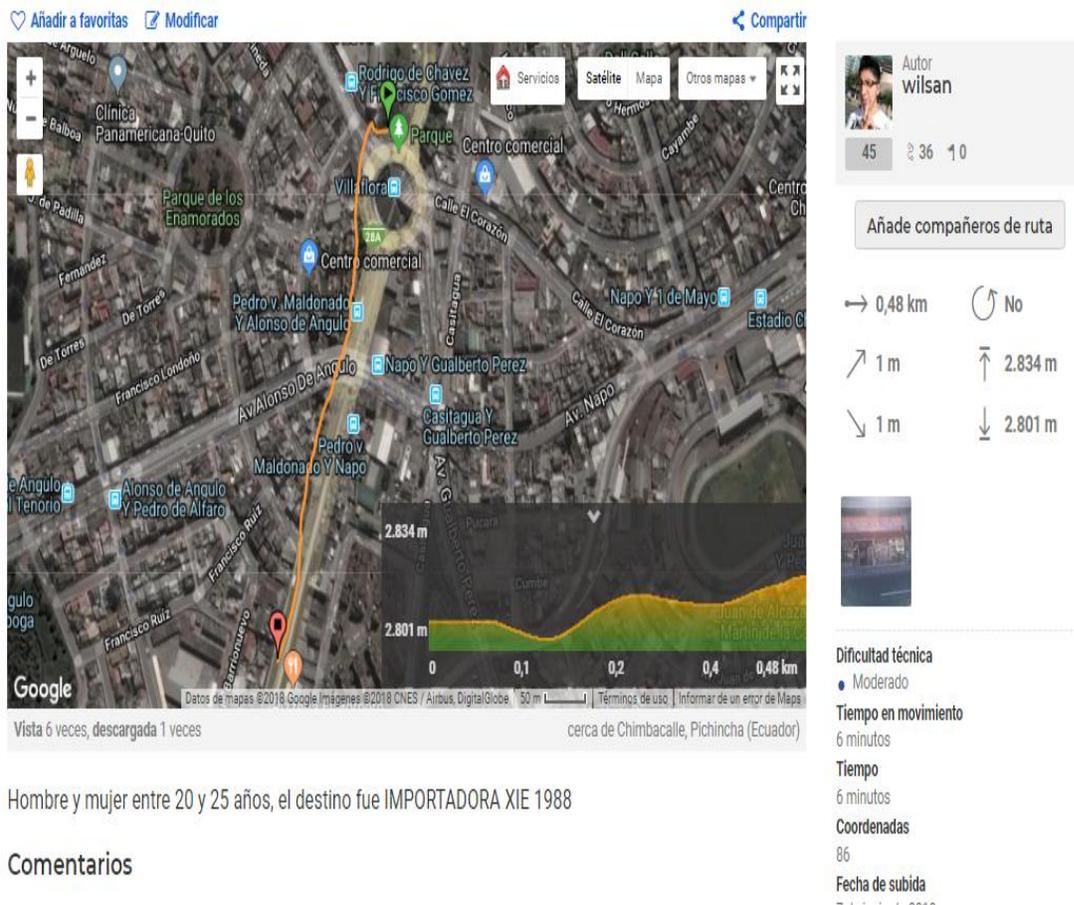


Figura 8. Itinerario peatonal registrado en la web de la aplicación

Fuente: Elaborado por la autora

⁵ Wikiloc es una *mashup* (aplicación híbrida) que utiliza los Sistemas de Posicionamiento Global (por su nombre en inglés GPS) de los dispositivos celulares. Esta aplicación, como ocurre con otras, permite registrar información en tiempo real (pestaña de comentarios) e incluir fotografías. En comentarios se anotó la información general de los usuarios del BRT y se subió la foto del usuario ingresando al primer destino.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Al finalizar, se socializaron las limitaciones identificadas en el proceso y con esta información se elaboró un árbol de problemas que, luego, se transformaron en objetivos orientados a mejorar el protocolo de medición (este paso se identificó como uno de los aspectos más sensibles en este método). Todo ello permitió establecer un documento que resume los pasos para aplicar la técnica, los cuales se detallan a continuación:

- Buscar un lugar estratégico fuera de la estación que no genere incomodidad a los usuarios.
- Verificar que el GPS del celular esté funcionando de manera adecuada.
- Seleccionar a la persona que se va a realizar el seguimiento (de forma aleatoria).
- Iniciar la aplicación Wikiloc.
- Empezar a seguir a los usuarios manteniendo una distancia razonable para evitar que la persona que está siendo observada no perciba que está siendo perseguida.
- Suspender la aplicación el momento que la persona llega a su destino.
- Registrar en comentarios la información de las características del usuario (la composición del grupo de edad aproximada, debido a que no interactúan con el usuario, el género) y las características del destino (la dirección y el uso del suelo).
- Enviar la información al número de WhatsApp en tiempo real de recogida de la información.
- Identificar los segmentos que intervinieron en el itinerario peatonal.

Adicionalmente, se estableció el acuerdo de suspender el registro de la ruta por dos motivos: 1) cuando la persona se da cuenta de que se le está siguiendo, y 2) cuando el auditor percibe que la ruta puede ser insegura.

Luego, se calculó la muestra del número de rastreos a partir de los ingresos peatonales a las 42 estaciones seleccionadas de los dos corredores de uso exclusivo del sistema BRT de Quito. Tomando como referencia el promedio de usuarios de estas paradas de 198949,43 (según datos del EMPQ,2012), con un margen de error de 2,5% y un nivel de confianza de 95%, se obtuvo

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

un total de 1537 seguimientos. A pesar de ello, se decidió establecer 1680 itinerarios, distribuyendo 40 en cada parada.

El cuarto paso del método consistió en la aplicación del plan piloto, que tuvo una duración de una semana en diferentes horas del día (mañana, tarde y noche). Finalmente, se ejecutó la herramienta en 42 estaciones de dos corredores conocidos como Trole y Ecovía del sistema BRT; durante tres semanas se registraron diariamente nueve recorridos peatonales, recopilando, así, la información de 1680 en total. En la figura 9, se representa codificados con color de los 40 itinerarios en cada parada.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

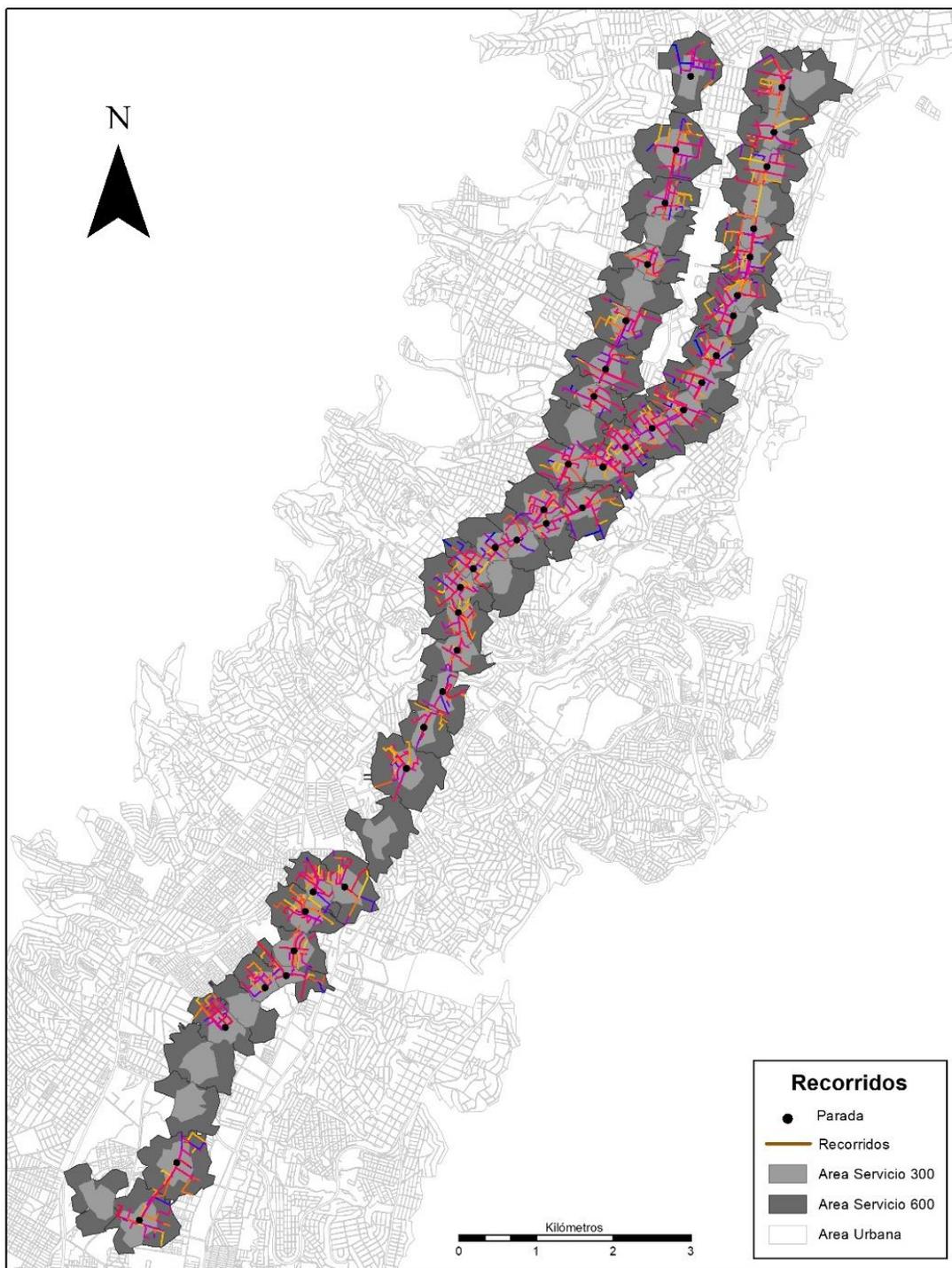


Figura 9. Mapa de los recorridos peatonales alrededor de las estaciones del sistema BRT de Quito

Fuente: Elaborado por la autora

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE
LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

A continuación, se exponen los resultados del método de rastreo o seguimiento.

Los resultados de los 1680 seguimientos muestran que el mayor número de itinerarios a pie se encuentran dentro del umbral de 300 metros, ya que, el promedio de distancia recorrida es de 319,05 m y el tiempo de 3,92 minutos. Las mujeres registran más recorridos a pie que los hombres, sin embargo, la distancia promedio de caminata de este último grupo (326,30 metros) es mayor que el de las mujeres (317,88 metros). Esto significa que la mayoría de los usuarios observados son mujeres, pero son los hombres quienes caminan más en el entorno próximo a las estaciones BRT. La tabla 4 muestra el análisis descriptivo de las variables distancia y tiempo de desplazamiento. El promedio de distancia peatonal recorrida depende de la tipología funcional del destino. Así, los usuarios del BRT caminan en promedio 376,89 m hacia las paradas de bus convencional; 334,66 m en dirección a la vivienda; 309,52 y 306,20 metros con destino a equipamientos y comercios, respectivamente.

Tabla 4. Tabla del análisis descriptivo de las variables distancia y tiempo de los itinerarios a pie registrados por el método de seguimiento

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Tiempo Total	1	19	3,92	2,00
Distancia Total	50	1460	319,05	151,13
Mujeres tiempo recorrido	1	19	3,93	2,02
Mujeres distancia recorrida	50	1460	317,88	152,10
Hombres tiempo recorrido	1	19	4,01	2,07
Hombres distancia recorrida	60	1460	326,30	156,51

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos del rastreo de septiembre del 2018

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

De estos usos del suelo registrados como destinos en los circuitos peatonales, la mayor frecuencia corresponde al uso comercial y equipamientos. El análisis de frecuencias de los destinos se describe en la tabla 5.

Tabla 5. Tabla de análisis porcentual de los destinos de los itinerarios a pie registrados por el método de seguimiento n (1680)

	Frecuencia	Porcentaje
Comercio	668	39,8
Equipamiento	481	28,6
Financiero	14	0,8
Industria	4	0,2
Multifamiliar	146	8,7
Residencia	320	19,0
Transporte	1	0,1
Uso múltiple	46	2,7
Total	1680	100,0

Fuente: Elaborado por el autor a partir de los datos del rastreo de septiembre del 2018

Respecto al tema que atañe al objetivo 3 (OB 3) sobre el umbral de distancia máxima recorrida a pie, algunos estudios previos han propuesto distancias estándares para el cálculo del área de servicio: 400 a 600 metros (Calthorpe, 1993); 500 metros (Sung et al., 2014); Guerra y Cervero (2013) sugieren que inclusive las variaciones que experimenta el modelo de demanda son mínimas en los diferentes umbrales, por lo que, propone un rango de distancia a pie entre los 300 a 900 metros. En sistemas BRT los estudios emplean diversas distancias, Cervero y Dai (2014) emplearon 600 metros, mientras que, en la mayoría de los estudios en ciudades latinoamericanas utilizaron la distancia estándar de 250 y 500 metros para las paradas y las terminales respectivamente (Estupiñán y Rodríguez, 2008; Vergel-Tovar y Rodríguez, 2018). Sin embargo, Vergel-Tovar y Rodríguez (2014) sugieren que la elección del umbral puede ser considerada una limitación en el análisis.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Frente a esto, esta investigación asume la distancia de 600 metros como umbral máximo de recorrido a pie. Lo anterior se fundamenta en el resultado porcentual del 95,54 % de los destinos registrados en los seguimientos –equipamientos, servicios, vivienda y paradas de buses–, que se encuentran dentro de esta longitud y espacialmente se distribuyen heterogéneamente: el 22,14% se sitúan dentro de los 200 metros, entre el 201 a los 400 metros el 53,15%, entre el 401 a los 600 metros el 20,24 % y en más de 600 metros el 4,46%, distribución representada en la figura 10.

En conclusión, el método de rastreo o seguimiento permite determinar con bastante precisión y un bajo grado de incertidumbre lo que interesa a este estudio: conocer el motivo de los desplazamientos, la interrelación entre el usuario del sistema tipo BRT y el entorno urbano y, sobre todo, la ubicación de los destinos que es, precisamente, la información que nos permite establecer el umbral de distancia máxima recorrida a pie.

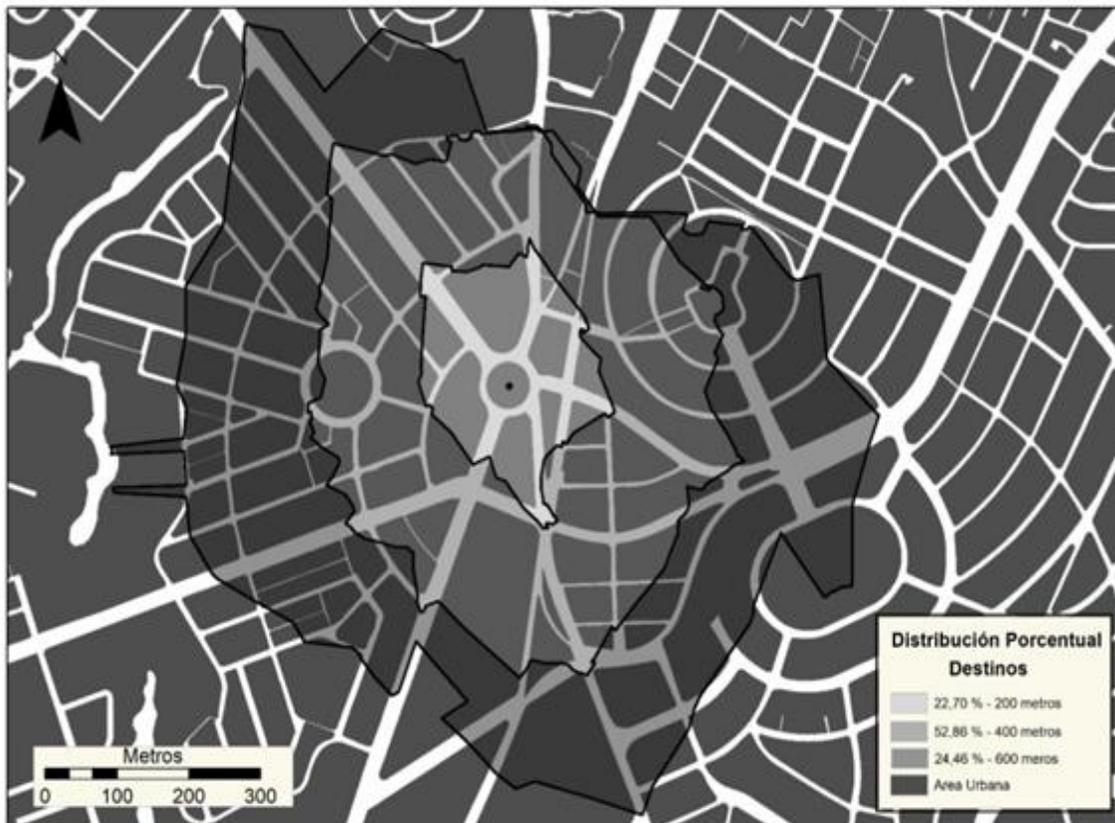


Figura 10. Distribución porcentual de los destinos en distancias de 200-400-600 metros

Fuente: Elaborado por la autora

4.2.2. Método para medir el entorno urbano: la herramienta Pedestrian Environmental Data Scan (PEDS) (Objetivo 3)

Con el fin de dar cumplimiento al objetivo 3 (OB 3) –generar una base de datos en el SIG que incluya, sobre todo, información obtenida de fuentes primarias–, se empleó la herramienta PEDS, que fue diseñada para evaluar el espacio público a microescala (Clifton et al., 2007). Esta herramienta ha sido aplicada, en general, en estudios de ciudades estadounidenses; sin embargo, en los últimos años se ha difundido fuera de este contexto, al punto de que se ha empleado en las investigaciones del entorno urbano inmediato de la estaciones del sistema BRT de ciudades de América Latina, entre ellas Quito, Ecuador (Rodríguez et al., 2009; Vergel-Tovar y Rodríguez, 2014).

El método tiene dos etapas: el protocolo para la investigación de campo y la herramienta que contiene los elementos de medición. El proceso del protocolo consiste en establecer una etapa de formación, un plan piloto y el definitivo, y la administración de los datos. La estructura de la herramienta PEDS está compuesta de tres grandes grupos: 1) los datos generales (nombre de la estación, número de segmento, clima, fecha, hora, longitud del segmento, número de la ficha y el nombre del auditor); 2) las características de la estación (tipo, número de rutas, servicio de alimentador, ciclovía, etc.) y 3) las cualidades cualitativas y cuantitativas del entorno urbano (usos del suelo, densidad, diseño, etc.).

A pesar de que la mayoría de los criterios propuestos por este método se ajustaron a la realidad quiteña, fue necesario establecer cambios en el proceso, que fueron validados por expertos. En la etapa del protocolo, por ejemplo, se modificó la forma de registrar la información, se realizó de manera manual, en lugar de digital a tiempo real, por no disponer del recurso necesario. Tampoco se consideraron dentro de los elementos medidos en la herramienta PEDS las barreras naturales, los límites de velocidad (por no contar con los dispositivos necesarios), la estética y la variedad arquitectónica. La tabla 6 recoge los lineamientos generales del método y los elementos que se ajustaron a la realidad de la ciudad de Quito, Ecuador.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE
LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Tabla 6 . Cuadro comparativo de los instrumentos PEDS

	PEDS	PEDS /Quito
Características		
Protocolo para la investigación de campo	✓	✓
<ul style="list-style-type: none"> • Formación • Segmentos de prueba • Compatibilidad con Tablet /PC • Tiempo requerido por segmento para recopilar la información 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ ✓ 3-5 min 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ N/A 5 min
Elementos medidos		
<ul style="list-style-type: none"> • Usos del suelo (tipos, intensidades, destinos) • Sendero/acera • Presencia de acera • Cualidades de la acera (materiales, obstáculos, uniformidad) • Pendiente • Barreras naturales (acequia, arroyo) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ N/A
Interacciones vehículo-peatón		
<ul style="list-style-type: none"> • Volumen de tráfico • Estacionamientos (dentro y fuera de la calle) • Límites de velocidad 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ N/A
Conectividad de segmento/acera		
<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones de la acera (materiales, uniformidad) • Calma de tráfico 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ X
Seguridad y atractivo		
<ul style="list-style-type: none"> • Iluminado • Ver/vigilancia • Estética 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ X

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE
LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

	PEDS	PEDS /Quito
• Variedad arquitectónica	✓	X
• Presencia de árboles	✓	✓
Evaluación subjetiva I		
• Percepción de atractivo	✓	✓
• Percepción de seguridad	✓	✓

Fuente: Elaborado por la autora, basándose en los criterios del instrumento PEDS (Clifton, 2007).

En la estructura de la herramienta, algunos de los elementos se modificaron con el fin de obtener información no disponible en el original, o profundizar más sobre algunos componentes del entorno. En la sección de tipo de segmentos, se incluyen los senderos las escalinatas y la presencia de ciclovías. En el grupo de características de uso del suelo, se incrementa la información con el número de usos de cada tipo y el número aproximado de personas que laboran en esas entidades. Adicionalmente, se incorporan los datos de número de personas que circulan y el número de personas que permanecen. La figura 11 contiene la herramienta PEDS propuesta para esta investigación.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Nombre de la Estación: _____ Fecha: _____ No. Personas/circulan _____
 Cod Segmento: _____ Hora: _____ No. Personas/permanecen _____
 Longitud aproximada: _____ Tiempo promedio permanencia Observado r: _____

Características: Servicios

	Numero	1	2
Número rutas buses		SI ___	NO ___
Servicio Alimentador		SI ___	NO ___
Ciclovia		SI ___	NO ___
Transporte B (parada taxis, buses)		SI ___	NO ___
Transporte M (buses interparroquiales y/o interparroquiales)		SI ___	NO ___

1. Tipo de segmento

Bajo Flujo Vehicular (2-Carriles)	<input type="checkbox"/>	1
Alto Flujo Vehicular (3+Carriles)	<input type="checkbox"/>	2
Peatonal	<input type="checkbox"/>	3

A. Entorno Edificado

2. Usos de Suelo (Seleccionar y enumerar)

Equipamientos	Longitud (m)	Número	Tipología
Educación			1
Comercio			1
Centro Comercial			1
Oficinas			1
Administración Pública			1
Salud			1
Residencial			1
Comercio/Residencia			1
Residencia Multifamiliar			1
Residencia Multi/Comercio			1
Residencia Multi_Ofi_Comercio			1
Industria			1
Comercio/Oficina			1
Hotel			1
Financiero			1
Vacante			1
Recreación			1
Parqueadero			1
Otro			1

3. Densidad

Máximo#pisos
 Mínimo#pisos
 Baja 1
 Media 2
 Alta 3

B. Instalaciones Peatonales

4. Acera (ancho en metros)

0_2 1
 2_4 2

8. Zona de seguridad acera/tráfico motorizado

Ninguno 1
 Árbol 2
 Césped 3
 Bolardos 4
 Otro 5

9. Zona de seguridad ciclovia /tráfico motorizado

Ninguno 1
 Árbol 2
 Césped 3
 Bolardos 4
 Otro 5

C. Entorno Peatonal

10. Facilidades para el desplazamiento peatonal

Semáforo 1
 Semáforo peatonal 1
 Pare 1
 Paso a Nivel 1
 Paso Cebrá 1
 Puente peatonal 1
 Rampa 1
 Señalización 1

11. Facilidades peatonales

Bancas 1
 Basureros 1
 Parqueaderos bicicletas 1
 Alumbrado Público 1
 Señalización 1

D. Seguridad

12. Transparencia

Longitud (m)
 Poco Seguro 1
 Intermedio 2
 Seguro 3

13. Presencia de Mendigos

No 0
 Sí 1

E. Instalaciones Transporte Rodado

14. Número de parqueaderos en calle

0_5 1
 6_25 2
 26+ 3

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

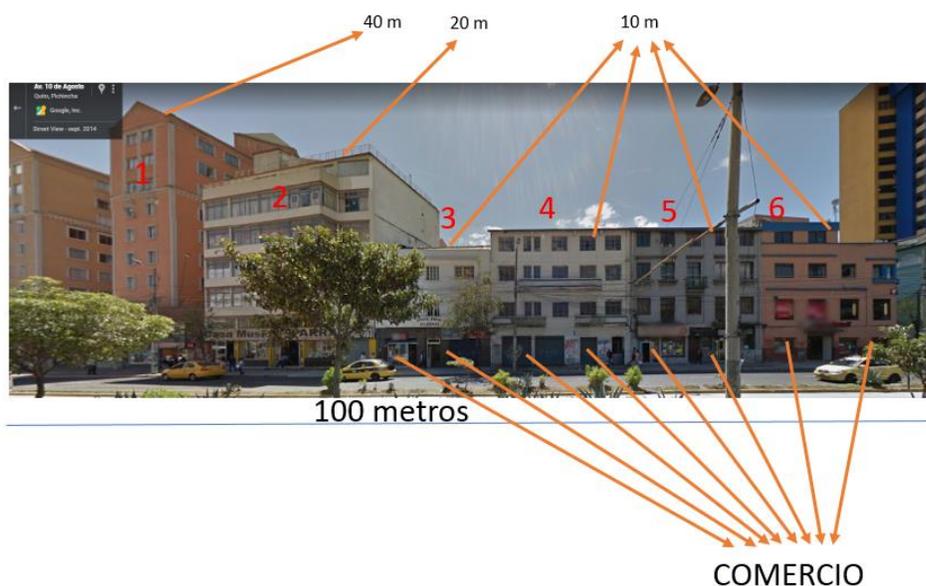
	4+ <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>		
5. Material del Segmento	Asfalto <input type="checkbox"/> 1	15. Facilidades para las bicicletas	Sin facilidades para bicicletas <input type="checkbox"/> 0
	Concreto <input type="checkbox"/> 2		Estacionamiento <input type="checkbox"/> 1
	Adoquín <input type="checkbox"/> 3		Señalización <input type="checkbox"/> 2
	Grava <input type="checkbox"/> 4		Vía bici designada <input type="checkbox"/> 3
	Otro <input type="checkbox"/> 5	F. Vegetación	
6. Obstáculos	Postes <input type="checkbox"/> 1	16. Hábito:	árboles <input type="checkbox"/> 1
	Árboles <input type="checkbox"/> 1		arbustos <input type="checkbox"/> 2
	Basureros <input type="checkbox"/> 1	17. Tipo:	cubre pisos <input type="checkbox"/> 3
	Bolardos <input type="checkbox"/> 1		endémicos <input type="checkbox"/> 1
	Vendedores informales <input type="checkbox"/> 1		nativos <input type="checkbox"/> 2
	Entradas estacionamiento <input type="checkbox"/> 1		exóticos <input type="checkbox"/> 3
	Hidrante <input type="checkbox"/> 1	18. Cantidad:	árboles <input type="checkbox"/>
	Parada Buses <input type="checkbox"/> 1		arbustos <input type="checkbox"/>
	Otro <input type="checkbox"/> 1		cubre pisos <input type="checkbox"/>
7. Estado de la acera	Malo <input type="checkbox"/> 1		endémicos <input type="checkbox"/>
	Regular <input type="checkbox"/> 2		nativos <input type="checkbox"/>
	Bueno <input type="checkbox"/> 3		exóticos <input type="checkbox"/>

Figura 11. Modelo de instrumento de auditoría de las características del entorno urbano

Fuente: Elaborado por la autora a partir de la herramienta PEDS

El proceso de formación se desarrolló durante tres semanas, con la participación de más de 300 auditores, todos ellos con edades comprendidas entre 22 y 24 años, y con experiencia previa en recopilación de datos, dado que formaban parte de grupos de investigación en temas urbanos. La capacitación consistió en difundir el protocolo para la investigación de campo mediante la modalidad de taller, similar al proceso aplicado en el método de seguimiento. En la primera fase, se realizó una presentación para explicar de manera detallada el instrumento de medición; en ella se empleó un registro fotográfico para ejemplificar las características de cada uno de los componentes a valorar. En la figura 12 aparecen capturas con las imágenes de los rasgos del entorno urbano y su valoración cuantitativa o cualitativa ejemplificando el ítem A de la encuesta citada anteriormente.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO



A. Entorno Edificado				
Usos de suelo (Seleccionar y enumerar)				
Equipamientos	Longitud (m)	Número	Tipología	Nombre_Eq.
Educación				
Comercio		12	CB	
Centro Comercial				
Oficinas				
Administración Pública				
Salud				
Residencia				
Comercio/Residencia				
Residencia Multifamiliar				
Residencia Multi/Comercio	40	1		
Residencia Multi_Ofi_Comercio				
Industria				
Comercio/Oficina	60	5		
Hotel				
Financiero				
Vacante				
Recreación (equipamiento)				
Otro				
Número_tipo_Usos	3			

Figura 12. Instrumentos de medición de las variables urbanísticas

Fuente: Elaborado por la autora

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Luego de la conceptualización teórica, los auditores participaron en un ejercicio práctico: el plan piloto, que consistió en valorar los elementos urbanos de cinco segmentos del viario en cinco estaciones del sistema tipo BRT. Entre los resultados de este ejercicio se obtuvieron los perfiles urbanos, la valoración de los elementos y el registro fotográfico; que permitieron profundizar en la conceptualización de los elementos a medir y, además, se identificaron las limitaciones presentadas al momento de aplicar la herramienta con el fin de mejorar el proceso. Adicionalmente, los observadores recibieron formación sobre la tabulación de los datos, puesto que se realizó de manera manual por los motivos explicados en párrafos anteriores.

El último paso del método es el procesamiento de la información que consiste en tabular, verificar, actualizar y dar seguimiento a los datos recolectados sobre cada segmento. Para la tabulación de la información se ingresaron los datos en tablas que facilitaron su análisis. La valoración del entorno urbano se registró en tablas Excel y se desarrolló en parejas con la supervisión de la investigadora. A fin de validar el proceso se seleccionaron diez fichas técnicas de forma aleatoria para comparar la información en físico con la digital.

La etapa de verificación se enfocó en comprobar si los datos obtenidos fueron los correctos, por lo que fue necesario aplicar la herramienta nuevamente. En este caso se valoró nuevamente el espacio urbano de cinco segmentos de cada estación (en total 210 segmentos), los cuales fueron seleccionados de manera aleatoria. Las fichas validadas fueron únicamente aquellas que en la prueba de confiabilidad alcanzaron un margen de error menor al 5% en relación con el total de los elementos medidos en la ficha técnica PEDS, sin considerar las variables subjetivas, por ejemplo, la sensación de seguridad. Además, se revisó la información de dos segmentos de la red de cada parada, con el apoyo del registro fotográfico adjunto a cada ficha técnica.

El paso de actualización consiste en reemplazar la información incorrecta y, para ello, se siguió el mismo proceso de la tabulación de los datos. En esta etapa se actualizó el *shapefile* del viario, puesto que algunos segmentos se identificaron inaccesibles debido al fenómeno de privatización del espacio público que está viviendo la capital ecuatoriana.

La herramienta PEDS de valoración de las características del entorno urbano a nivel de segmentos del viario se aplicó durante el primer semestre del 2018 en 42 áreas de servicio, localizadas a lo

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

largo de dos corredores longitudinales del sistema tipo BRT de Quito, el Trole y la Ecovía. Las zonas de captación se calcularon con una impedancia de 600 m (umbral de distancia a pie máximo obtenido con el método de seguimiento). Como resultado de este estudio se obtuvo información a microescala de 4417 segmentos localizados en el entorno inmediato a las paradas. La información digital se encuentra archivada en formato Excel y en ArcGis, y el archivo físico está clasificado y codificado en carpetas por paradas. La figura 13 corresponde a la distribución espacial de los segmentos del viario auditado.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO



Figura 13. Mapa de los segmentos en los que se aplicó el instrumento PEDS

Fuente: Elaborado por la autora

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

En conclusión, el método PEDS demuestra confiabilidad en la medición de los datos del entorno urbano a microescala en la ciudad de Quito, de acuerdo con los siguientes criterios: primero, la herramienta se diseña sobre la base de una metodología aplicada en estudios previos del entorno de ciudades de Estados Unidos; segundo, la aplicación del instrumento se ha realizado con el apoyo de auditores con conocimientos de urbanismo, lo que implica un menor margen de error en la medición de las características del entorno urbano.

4.2.3. Método de medición de recolección de datos: encuesta

Con respecto al objetivo 4 (OE4) de identificar las cualidades del usuario del BRT y las características de su viaje mediante la aplicación de una encuesta de intercepción, se empleó tal método. La encuesta de intercepción se caracteriza por recolectar datos de buena calidad en menor tiempo (Richardson et al., 1995), pues el auditor y el encuestado mantienen una relación directa (cara a cara). Este procedimiento ha sido utilizado en estudios con diversos enfoques, entre ellos, el análisis de la distancia a pie a las estaciones (Lin et al., 2014; Sarker et al., 2019). Por eso, se consideró una herramienta adecuada para esta investigación.

En términos generales, este proceso consta de cuatro pasos: 1) capacitación, 2) aplicación piloto, 3) la ejecución de la herramienta y 4) administración de la data; similares a los que se han descrito en los pasos de los métodos que precedieron a este. Por tal razón, únicamente se explicarán los criterios específicos, como ocurre con la estructura de la herramienta y el cálculo de la muestra. Es claro que la organización de la encuesta depende de los objetivos de la investigación, sin embargo, existen ciertos criterios básicos a considerar, por ejemplo, el encabezado que describa el objetivo y el destino que van a tener los datos, la información general que permite la administración adecuada de la data y las preguntas específicas.

La encuesta realizada a los usuarios del BRT se aplicó al ingreso de 42 puntos de conexión de los corredores Trolebús y Ecovía. El tamaño estimado de la muestra con un margen de error de 5% y el 97% de intervalo de confianza fue de 471 encuestados. Sin embargo, se tomaron 740 encuestas en total, las cuales se realizaron de forma simultánea en las dos primeras semanas de septiembre de 2017 (mes en el que se inicia de actividades educativas), en días laborables, en tres intervalos de tiempo: 7:00 a 9:00 a. m.; de 12:00 a.m. a 14:00 p.m.; y de 17:00 a 19:00 p.m. La tarea fue

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

realizada por 168 auditores que conformaron grupos de tres personas acompañadas por un coordinador. De las 740 encuestas, resultaron válidas 723.

El cuestionario se diseñó para completar la información en un tiempo máximo de 1 min. Las personas encuestadas proporcionaron datos como la edad, género y nivel educativo. Para conocer el comportamiento del viaje se preguntó la actividad que va a realizar, la frecuencia que utiliza a la semana el sistema BRT y el barrio al que se dirige; también se consultó a los usuarios información del entorno urbano: el tiempo de recorrido, número de cuadras y la razón por la cual seleccionaba la ruta (por ser más corta; rodeada de comercios; sin obstáculos; amplia; con árboles; con menor pendiente; acera en buen estado, más rápida, señalizada; o la opción de colocar otro, como se muestra en la figura 14).

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Encuesta a los pasajeros del sistema Trolebus Quito

Señores pasajeros: Solicitamos su colaboración para recopilar información, la misma que será utilizada para el análisis de los desplazamientos.

Encuesta No Parada No Barrio_origen

Día Cod Fecha Hora

CONDICIÓN CLIMÁTICA: Parcialmente Nublado 1 Nublado 2 Soleado 3 Lluvioso 4 Temperatura

DATOS GENERALES

Sexo: M 1 F 2

Edad:

1. NIVEL DE ESTUDIOS

Sin estudios 1 Primaria 2 Bachillerato 3 Técnica 4 Universidad 5 Posgrado 6 Otro 7

2. QUÉ ACTIVIDAD VA A REALIZAR?

Estudiar 1 Trabajar 2 Hogar 3 Negocios 4 Compras 5 Gestiones 6 Otro 7

3. CUÁNTOS DIAS A LA SEMANA UTILIZA EL TROLEBUS?

4. A QUÉ BARRIO SE DIRIGE? Cod

5. A QUÉ PARADA DEL TROLEBUS SE DICE? Cod

6. CUÁNTO TIEMPO CAMINO PARA LLEGAR A ESTA PARADA?

7. CUÁNTAS CUADRAS CAMINÓ PARA LLEGAR A ESTA PARADA?

8. POR QUÉ SELECCIONÓ EL CAMINO PEATONAL PARA LLEGAR A ESTA PARADA?

Segura 1 Sin obstáculos 2 Amplia 3 Arbolizada 4 Menor_pendiente 5 Buen_estado 6

Más_rápida 7 Señalizada 8 Otro 9

NOMBRE DEL ENCUESTADOR:

Figura 14. Encuesta aplicada al ingreso de las estaciones del sistema BRT

Nota: Elaborada por la autora y validada por el Departamento de Investigación de Movilidad de la UCE.

4.2.4. Resultados de la encuesta

Con la encuesta se recopiló información de 723 personas (mayores de 16 años) que utilizaron los corredores Trole y Ecovía durante días hábiles del **mes de septiembre del 2017**, lo que representa una semana laboral y escolar considerada normal. Los resultados muestran que las personas encuestadas tienen la percepción de caminar un promedio de 270 metros para llegar a la estación,

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE
LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

su viaje en el BRT es de 4756,69 km en promedio. La tabla 7 contiene el análisis descriptivo de las variables cuantitativas recopiladas en la encuesta de intercepción.

Tabla 7. Análisis de las variables cuantitativas recopiladas en la encuesta de intercepción n (723)

Variable	Descripción	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Distancia a pie (Km)	Cuadras por distancia promedio de cada parada	0,03	2,58	0,27	0,23
Distancia al destino (Km)	Longitud medida desde el origen hasta la parada destino	365,26	18024,83	4756,69	3536,87
Distancia entre paradas (Km)	longitud entre las estaciones	0,35	0,96	0,57	0,17

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos obtenidos en la encuesta septiembre 2017

Los resultados de la frecuencia relativa de la edad, el nivel de estudios, el motivo de viaje y la selección del itinerario de acceso a pie a las paradas BRT, variables cualitativas; muestran las características predominantes sobre generalidades y el comportamiento del viaje de las personas encuestadas, usuarios del sistema tipo BRT. En cuanto al género, se observa que el 52,14% de los encuestados son mujeres. Respecto a la edad y el nivel de educación, la mayoría de los sujetos corresponde al grupo etario entre los 16-30 años (54,63%) y registra estudios universitarios en curso o culminado (44,4%).

Por otro lado, en términos generales, las personas recorren una distancia máxima de 18,3 km (repartidos entre 0,3 km de caminata hacia la estación y 18 km en los buses BRT) para llegar a su parada destino dentro de los dos corredores exclusivos estudiados. Tal comportamiento se repite cuatro de los cinco días laborales por motivo de trabajo (37,62%), hogar (24,62%) y estudio (13,0%). Tomando en cuenta que estas actividades cotidianas y obligatorias requieren de

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

conexiones directas a través de la red, no sorprende que la opción de ruta más rápida registre la mayor frecuencia (61,27%); sin embargo, además de esta alternativa, los usuarios BRT seleccionaron también aquellos itinerarios con mayor seguridad contra el crimen (24,34%). Es decir, las personas deciden seleccionar el itinerario urbano cuando perciben un viario urbano accesible (Frank et al., 2010) y seguro respecto a eventos delincuenciales (variable asociada con la dimensión subjetiva), resultados que están en línea con otras investigaciones en algunas ciudades de la región (Arellana et al., 2020).

Respecto al entorno edificado, el análisis descriptivo de la variable distancia peatonal de acceso a las estaciones BRT en los dos escenarios extremos existentes del entorno inmediato de las paradas del BRT muestra que el valor máximo de la distancia peatonal (1340 metros) y de la distancia de recorrido en el BRT (18000 metros), se registran en las zonas con diversidad de usos del suelo, las facilidades peatonales, la baja densidad residencial y el estrato social alto. En contraste, en aquellas zonas monofuncionales (presencia mayoritaria de vivienda) con comercio barrial y equipamientos educativos, en donde el sistema público abierto es deficitario; la distancia peatonal presenta un valor máximo de caminata de 368 metros. En efecto, las personas están dispuestas a recorrer mayores distancias en zonas accesibles, con diversidad de usos de suelo; ambas variables representan a los componentes del indicador de caminabilidad (Frank et al., 2010).

CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO DE LAS ESTACIONES DEL BRT DE QUITO

En este capítulo se da respuesta al objetivo 2 de la tesis que trata acerca de la generación de una base de datos en el SIG. La información que se presenta a continuación se organiza bajo las características DOT. Para ello, este capítulo se clasifica en tres partes: una introducción en la que se describe el contexto urbano en el que se localiza el sistema BRT de Quito; luego se expone el mapeo de la variable densidad utilizando información secundaria (INEC) dentro de un umbral de distancia de 600 metros y los usos de suelo con mayor presencia en el entorno próximo de las estaciones; y por último, se presenta el mapeo de las facilidades peatonales, en este ítem pueden apreciarse varios mapas sobre la cantidad de estacionamientos, número de personas que circulan y personas que permanecen en las estaciones. Resulta necesario indicar que el mapeo de las variables elaborado con datos de fuentes primarias, como el mapa de la mezcla de usos del suelo vertical, los equipamientos, hoteles, ancho de acera, personas que circulan, personas que permanecen; se recopilaron a través de la ficha PEDS en marzo del 2018, este procedimiento fue detallado en el ítem 4.1.2. La información más relevante se incluye en este capítulo, mientras que, aquellos datos que no intervinieron en los análisis se incluyen en los anexos.

5.1. Sistema de transporte público colectivo tipo BRT de Quito

El sistema de transporte público masivo tipo BRT se encuentra a lo largo de la capital del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). La ciudad presenta 42 km y entre 4,5 y 16 km de ancho aproximadamente, esto se debe a que se encuentra ubicada en una meseta a 2850 metros sobre el nivel del mar. Estas características definen, por un lado, las vías de conexión de transporte motorizado, ya que predominan las redes longitudinales; y por otro, los ejes de circulación peatonal, pues más del 30 % del viario presenta una pendiente superior al 8%, es decir, no cumple con una adecuada accesibilidad.

Esta forma alargada de la ciudad en sentido norte-sur y el modelo de dispersión promueven la concentración de la población en las zonas suburbanas. Debido a estas razones Quito registra un alto índice de viajes motorizados.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

El sistema de transporte público colectivo tipo BRT ha sido una de las alternativas más eficientes para enfrentar esta demanda. Este sistema comenzó a operar en 1995 luego de que se aprobó la ley del régimen del DMQ. Las troncales se implementaron por etapas, la primera fue el Trolebús emplazado sobre la avenida 10 de agosto, luego la Oriental Ecovía y la Suroccidental; que están gestionadas por la entidad pública.

El Trolebús, con más de 25 años de operación, inició su funcionamiento con buses eléctricos de alta capacidad que una vez que superaron su vida útil fueron reemplazados por biarticulados a diésel. Las estaciones se encuentran en plataformas al mismo nivel que los trolebuses para permitir el ingreso y la salida de pasajeros de forma rápida y segura. La Ecovía fue el segundo sistema de transporte público desarrollado en Quito comenzó su funcionamiento en 2001 en el tramo comprendido entre el Playón de La Marín y la estación Río Coca (EPMTPQ,2012), para lo cual se incrementaron buses articulados tipo Volvo. Este corredor se complementó en 2011 con la apertura de la extensión Suroriental que hoy tiene conexión con la Terminal de Quitumbe y con la nueva Terminal Sur Ecovía.

En el ámbito espacial el análisis se realiza en el entorno próximo a las paradas de dos corredores del sistema: Trolebús y Ecovía. La selección de estos carriles se justifica por la calidad del servicio que brindan. Ambos poseen carriles exclusivos y, además, han estado operando por más de diez años. Respecto a las estaciones se seleccionan las 42 que estaban funcionando de manera habitual, puesto que el sistema de transporte se encontraba en un proceso de remodelación en el primer semestre del 2018 (fecha en el que se recopilaron los datos). Se descartaron aquellas estaciones que registran un mayor número de pasajeros que no tienen contacto con el entorno, es decir, terminales y estaciones de transferencia. En la figura 15 se aprecian las troncales Trolebús y Ecovía.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

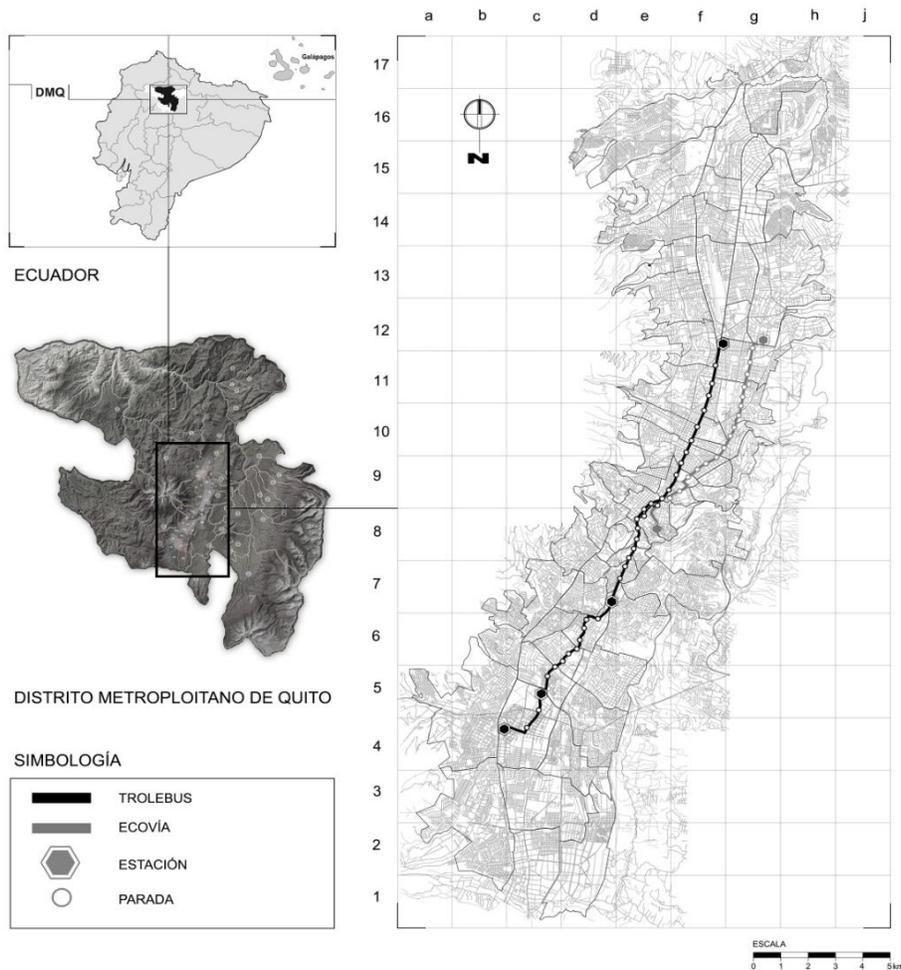


Figura 15. Sistema BRT de Quito, corredores Trolebús y Ecovía

Fuente: Elaborado por la autora

5.2. Distribución de la población residencial en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús

Quito enfrenta de manera frecuente modificaciones en el número de residentes a causa del desplazamiento de la población a los valles y a las periferias de la ciudad. En este contexto, las personas se localizan donde la tierra es más barata y donde existe espacio disponible. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en Quito se ha registrado una disminución en la cantidad de la población que se asienta en el núcleo urbano y una tasa de crecimiento positiva

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

en los valles (extremos norte y sur de la ciudad). Los mayores niveles de crecimiento de la población se registraron en Calderón y La Delicia, en el extremo norte de la ciudad (zona cubierta por el sistema MetroBusQ); en Quitumbe, que se encuentra en el extremo sur y en los valles de Tumbaco y Los Chillos (INEC, 2010). Considerando los rangos de densidad de la población en la ciudad, se destaca la prevalencia de la variable de baja densidad en las cercanías de las estaciones. El análisis sugiere que el 69,05 % corresponde a baja densidad y se encuentra localizada en la zona norte, el 26,19 % es media y el 4,76 % es alta y pertenece a la zona sur; como se muestra en la figura 16.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

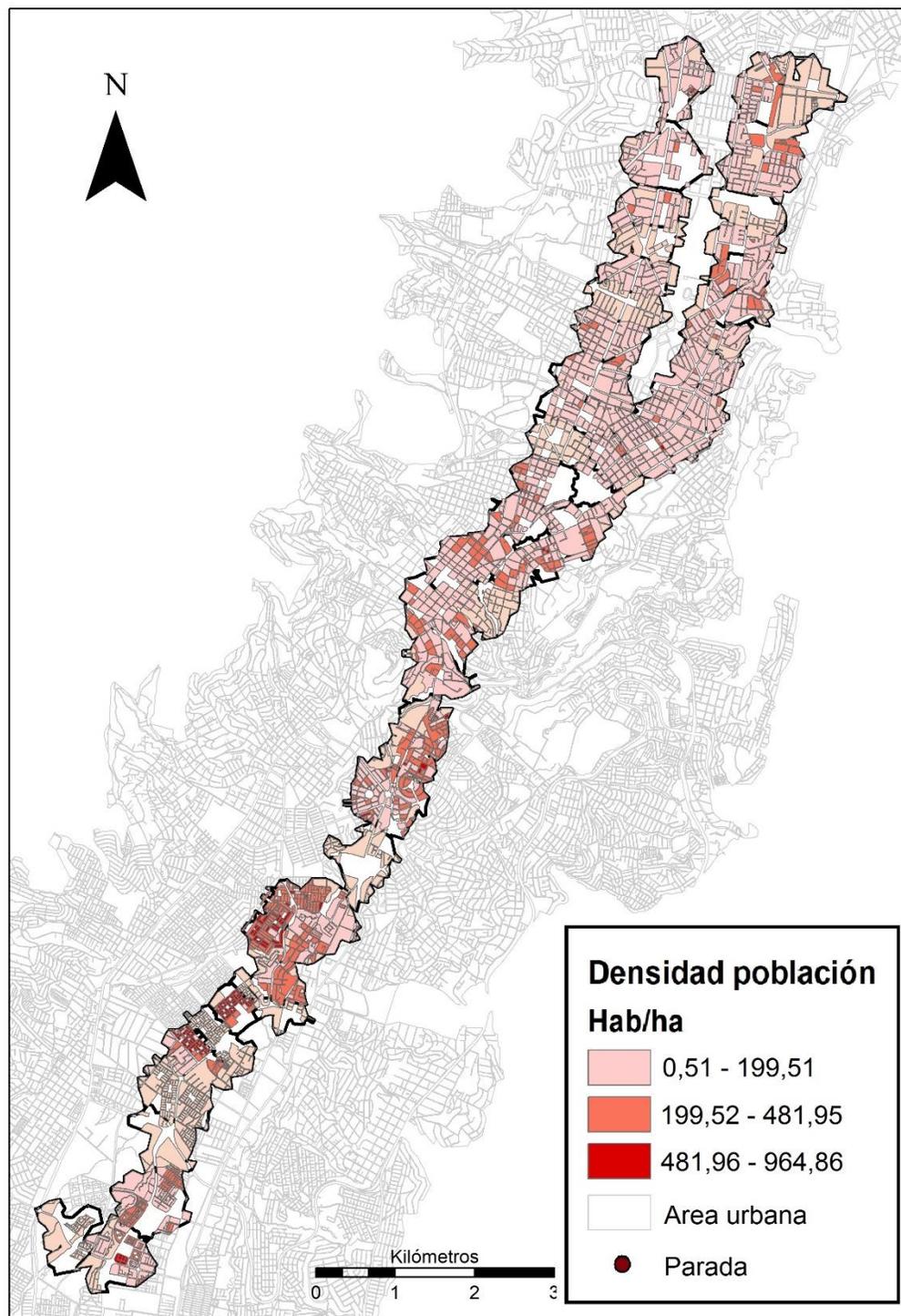


Figura 16. Mapa de la distribución espacial de la población en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos del CENSO 2010

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Del mismo modo, los resultados porcentuales de la densidad de desarrollo urbano medida por la altura de las edificaciones muestran que el 70,51 % de la densidad es baja, por su parte la densidad media es de 22,17 %, la densidad alta representa un 1,72 % (esta predomina en la zona norte de la ciudad) y el espacio vacante es de 5,60 %. En la figura 17 se representa la distribución espacial de las variables a escala de segmento.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

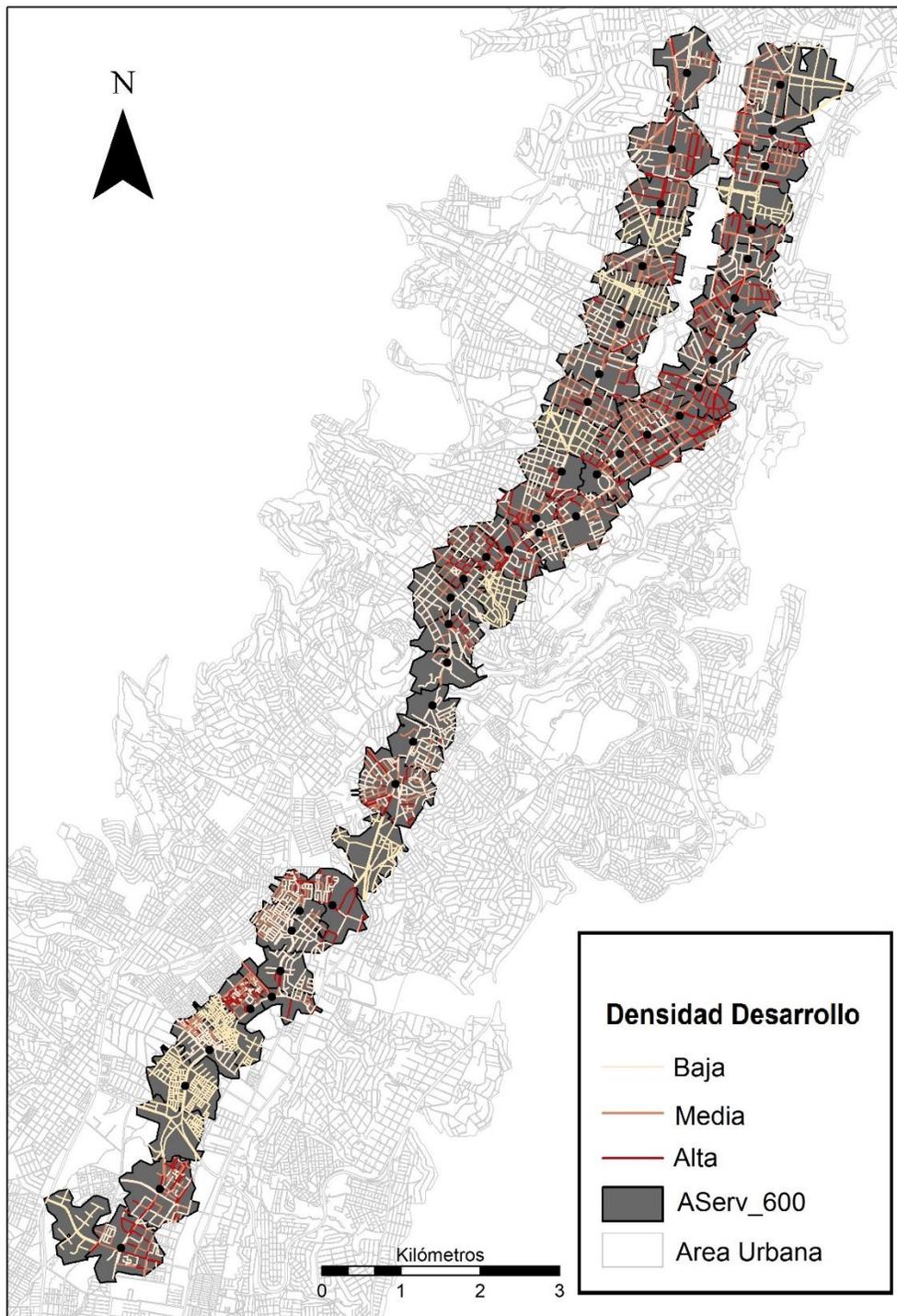


Figura 17. Mapa de densidad edificatoria en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús medido a escala de segmento del viario

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos recopilados en la ficha PEDS_QUITO en marzo del 2018

5.3. Distribución espacial de uso del suelo en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús

En este ítem se integran todos los mapas que representan los usos de suelo identificados dentro de las áreas de servicios (600 metros) de las estaciones del sistema BRT. La mezcla vertical corresponde al uso a pie de calle y en los demás pisos, esta variable se clasificó en tres categorías: la vivienda unifamiliar, la residencia multifamiliar y la oficina; combinadas con comercio.

Los resultados de la frecuencia relativa muestran que el mayor porcentaje corresponde a la mezcla del uso residencial unifamiliar y comercio (34,46 %); a la residencial multifamiliar y comercio (24,44 %); al uso de oficina con comercio (5,77 %); a la residencia multifamiliar, oficinas y comercio (4,97 %). En la figura 18 se aprecia la variable mezcla de uso del suelo vertical, la misma que permite visualizar su distribución espacial siendo evidente que los segmentos se localizan en la zona central, conocida como hipercentro; mientras que, en los extremos, zona periférica, disminuyen este uso.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

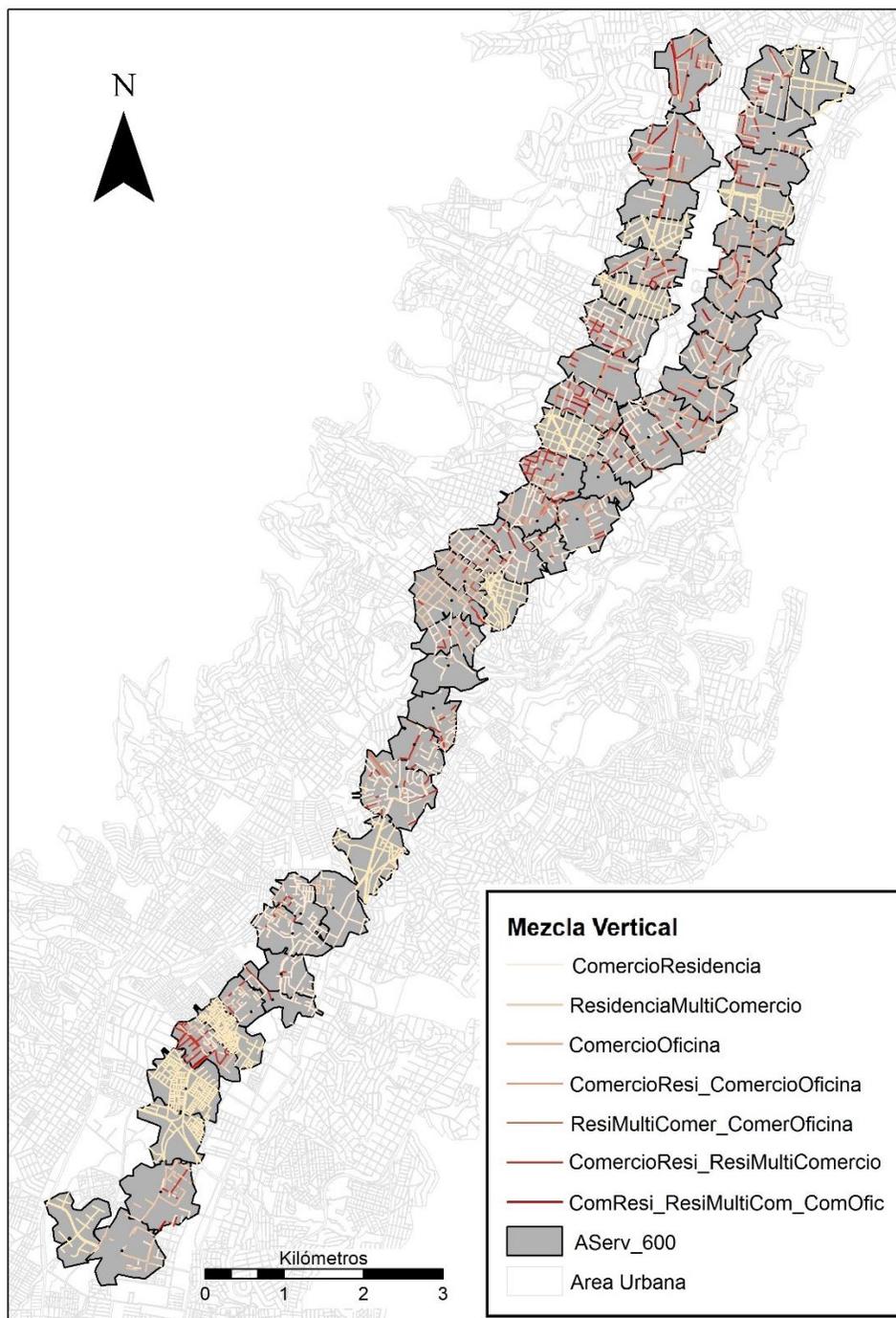


Figura 18. Mapa de los segmentos con usos de mezcla vertical (comercio, oficinas y vivienda) en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos recopilados en la ficha PEDS_QUITO en marzo del 2018

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Los resultados porcentuales de los equipamientos se distribuyen de la siguiente forma: el 12,15 % de educación, un 6,20% de salud y un 1,18 % en cultura. En la figura 19 se aprecia la distribución espacial de la variable equipamientos de salud, educación y cultura. Evidentemente, este uso del suelo tiende a tener mayor predominancia en la zona norte de la ciudad.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

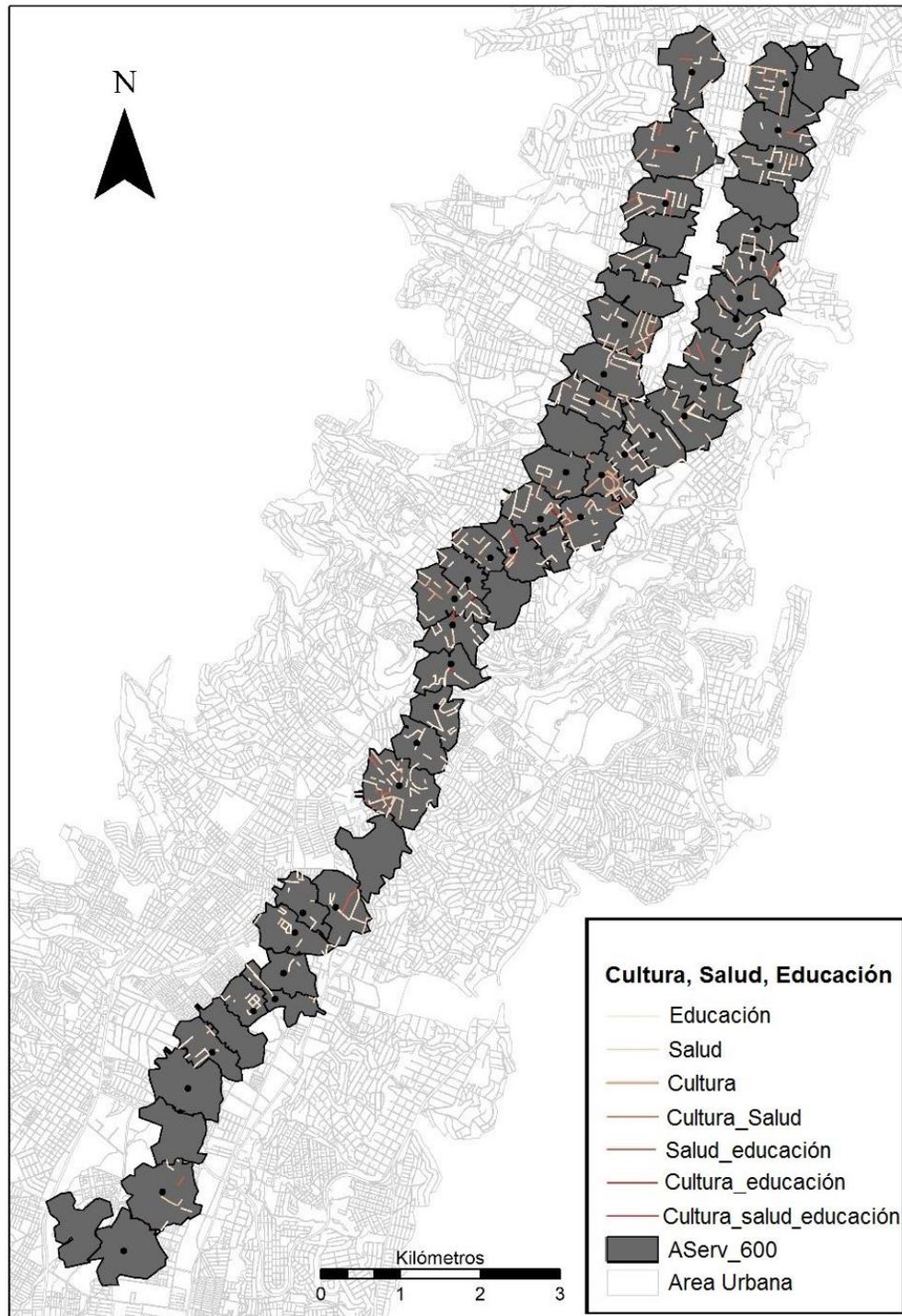


Figura 19. Mapa de los segmentos con usos de equipamientos de cultura, salud y educación en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos recopilados en la ficha PEDS_QUITO en marzo del 2018

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Los resultados porcentuales del uso del suelo de oficinas corresponden a un 7,84 %, en hoteles representan un 5,37 % y en el sector financiero un 2,65 %. En la figura 20 se muestra la distribución espacial de la variable de los usos: oficinas, hoteles y financiero.

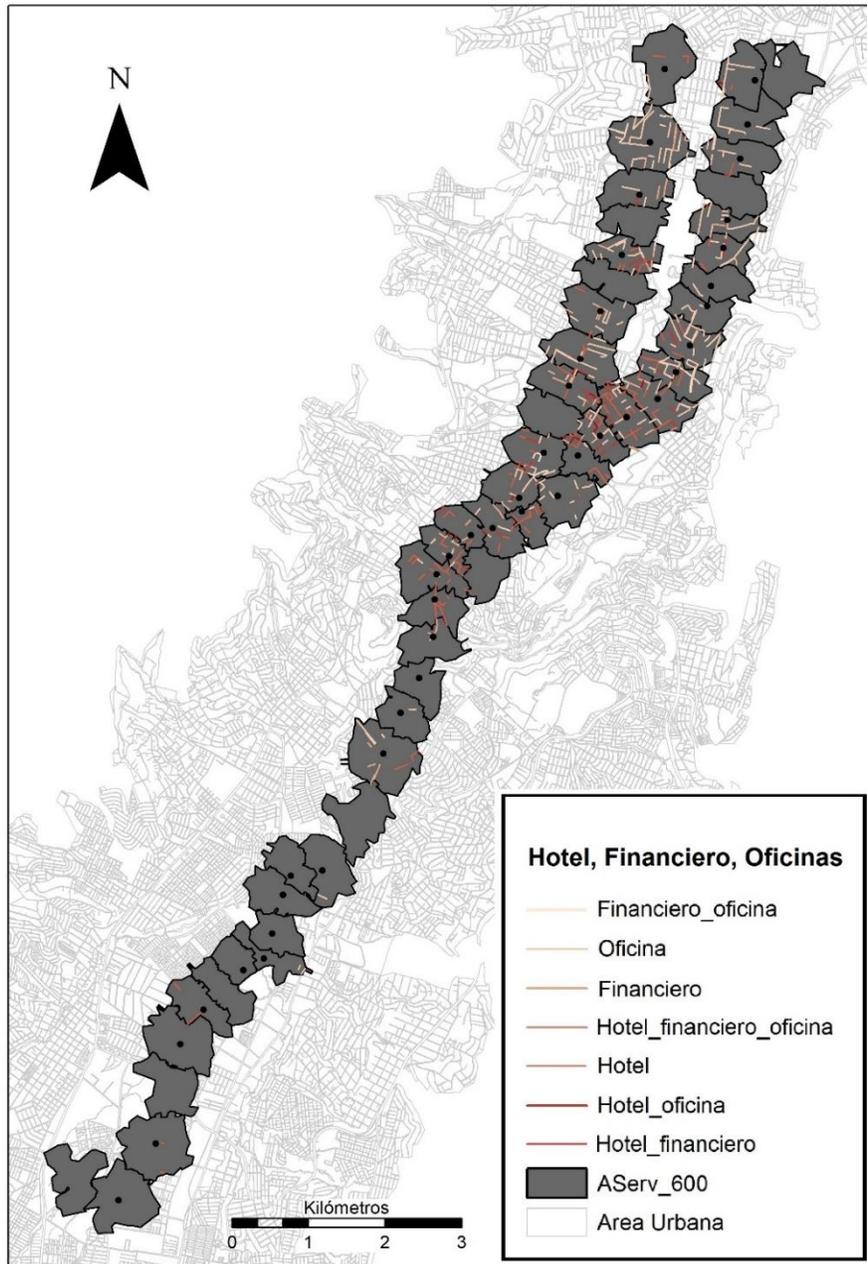


Figura 20. Mapa de los segmentos del viario con usos de hotel, financiero y oficinas en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos recopilados en la ficha PEDS_QUI TO en marzo del 2018

5.4. Distribución espacial de las variables del domino diseño

Los resultados porcentuales de los segmentos del viario con diferente ancho de acera corresponden a un 13,58 % al rango entre 0,5 y 1 metro, un 35,58 % al rango de ancho de acera entre 1,1 a 2 metros, un 32,22 % al rango de 2,1 a 3 metros, el 13,30 % al rango de 3,1 a 4 metros y un 5,31 % al rango de más de 4 metros de ancho de acera. En la figura 21 se representa la distribución de los segmentos de red con los rangos de ancho de acera.

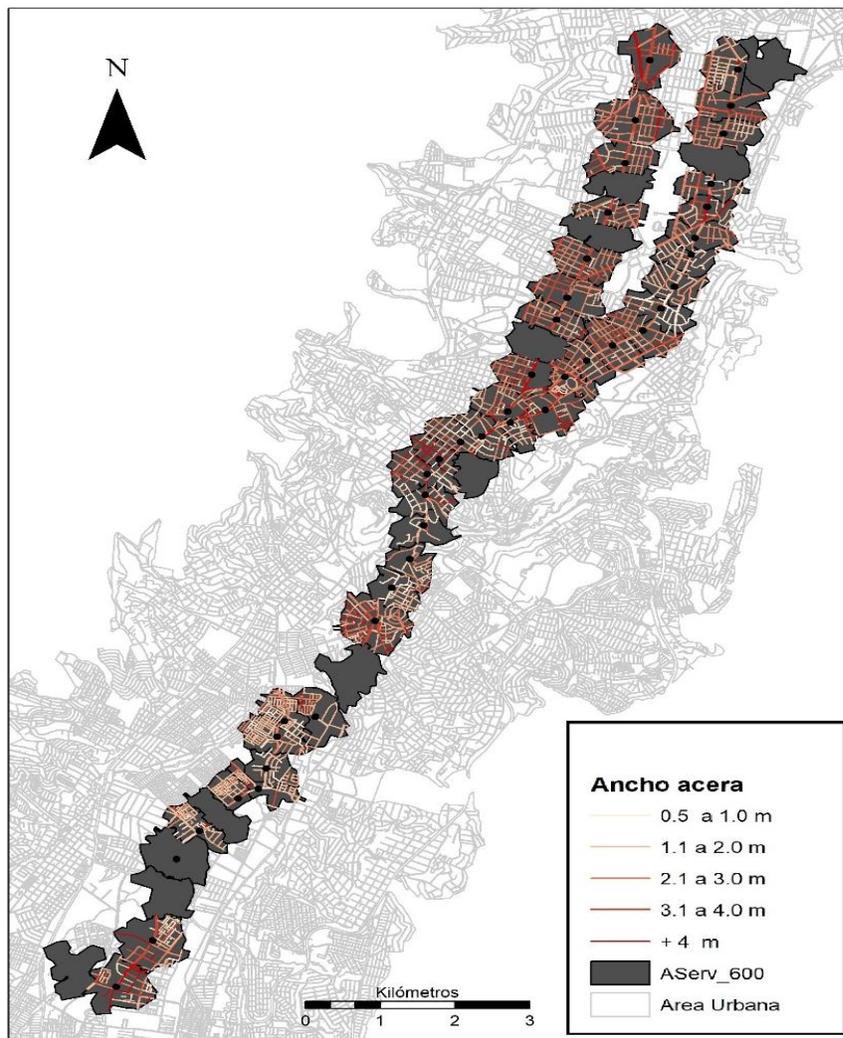


Figura 21. Mapa de los segmentos con anchos de acera en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos recopilados en la ficha PEDS_QUITO en marzo del 2018

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

El mapeo de la distribución de las personas que permanecen dentro del área de servicio revela que la mayor intensidad de espacios de estancia se encuentra localizada en la zona centro y norte de la ciudad, coincidiendo con áreas donde se encuentran los equipamientos. Por otro lado, se observa una disminución de esta variable en el sector sur, debido a la falta de infraestructuras públicas y la escasa diversidad de uso del suelo en esa área.

Esta variable refleja también la presencia de plazas, parques, calles animadas, entre otros, ya que esos lugares son precisamente diseñados para la estacionalidad de las personas. La figura 22 muestra la distribución espacial de las personas que permanecen por más de 5 minutos en el espacio público.

Por otro lado, el mapeo de la variable personas que circulan dentro del área de servicio muestra que las zonas centro y norte presentan un mayor flujo a pie que el sector sur, adquiriendo, así, una distribución espacial similar a la variable de permanencia. Los segmentos del viario que registran entre 147-270 sujetos durante los 10 minutos de auditoría se extienden desde el hipercentro hacia el norte de la ciudad, mientras que, los arcos de red que registran entre 0-25 peatones tienen mayor presencia en la zona sur. En la figura 23 se observa los segmentos del viario con el número de personas que circulan en el entorno próximo a los corredores del BRT.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

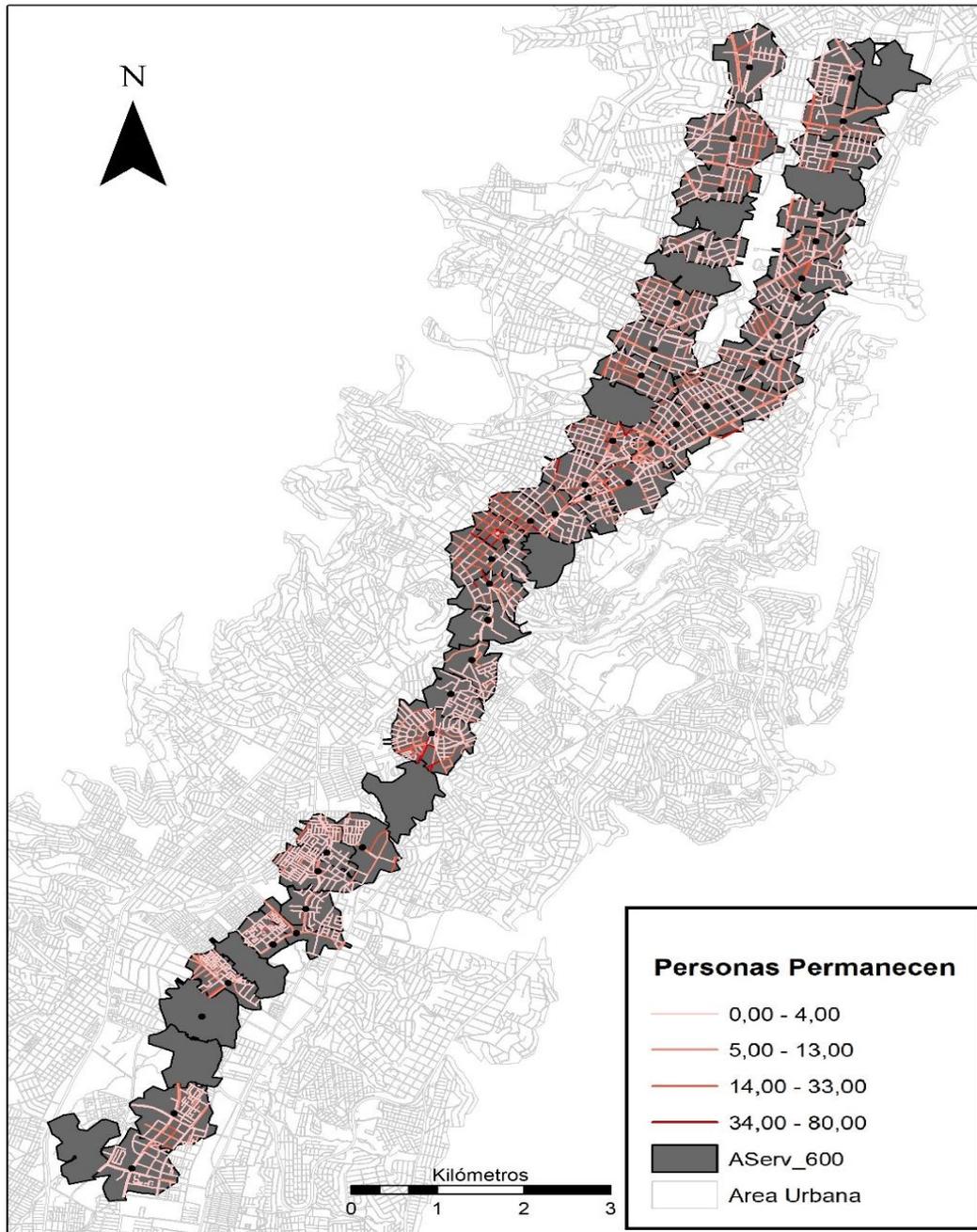


Figura 22 .Mapa de los segmentos de red con el número de personas que permanecen en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos recopilados en la ficha PEDS_QUITO en marzo del 2018

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

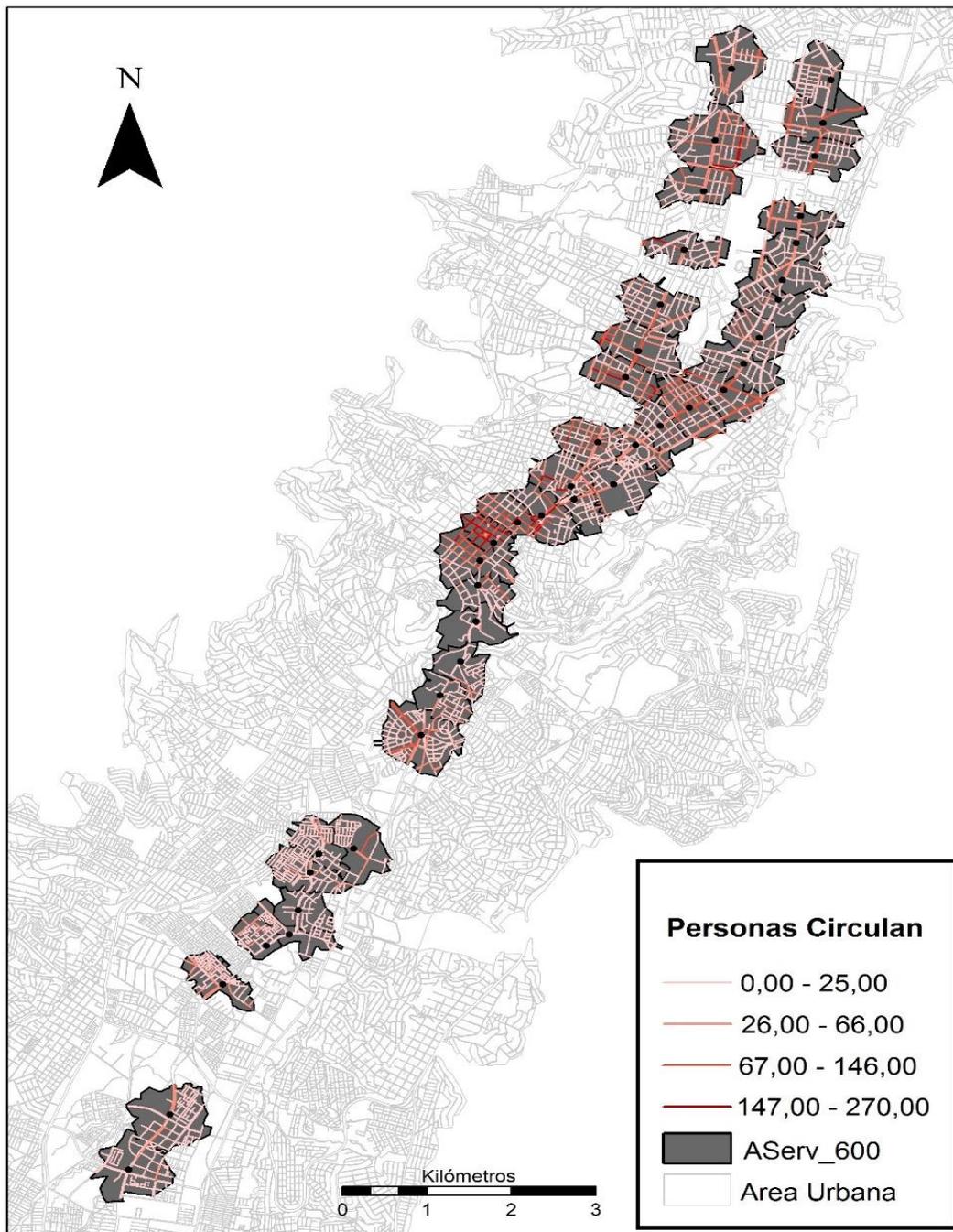


Figura 23. Mapa de los segmentos del viario con el número de personas que circulan en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos recopilados en la ficha PEDS_QUITO en marzo del 2018

CAPÍTULO 6. VARIABLES DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se explican las variables de estudio y los análisis estadísticos aplicados para dar respuesta a cada objetivo específico. En la primera parte, se examinan la distancia a pie a las estaciones, las cualidades del contexto y las características de los usuarios (OE 2, OE 3 y OE 4). En la segunda parte, se presenta la definición, la fuente y las escalas de medición de las variables urbanísticas, sociodemográficas, de accesibilidad y los análisis estadísticos empleados.

Para el OE 5, que describe la relación entre el entorno urbano y el número de usuarios del sistema BRT, y para el OE 6 que abarca la asociación entre el contexto inmediato de las estaciones y la distancia a pie; se empleó el modelo de regresión múltiple. Por su parte, el análisis factorial y de conglomerados se utilizó para dar respuesta al OE 7, que trata sobre la tipificación del entorno urbano próximo a las paradas del sistema BRT. En estos análisis se empleó el software SPSS Statistics.

6.1. Análisis estadístico de las variables que intervienen en los OE 2 y OE 4

En este ítem se describen los resultados de los análisis estadísticos de las variables: umbral máximo de distancia recorrida a pie a las estaciones, características urbanísticas, cualidades del viaje y criterios de selección del itinerario peatonal de acceso a pie a las estaciones en función del espacio público.

6.1.1. Umbral de distancia máxima recorrida a pie a las estaciones (OE 2)

El objetivo 2 es establecer el umbral de distancia máxima que están dispuestos a caminar los usuarios del sistema BRT en la ciudad de Quito a partir de los datos de los seguimientos a los itinerarios peatonales aplicados **en septiembre del 2018** a la salida de las estaciones del BRT.

La distribución porcentual revela que menos del 40% de los usuarios del sistema BRT caminan desde la parada hacia su destino distancias comprendidas entre 50 y 250 metros. Por ello, se vuelve imperativo replantear el umbral de distancia máxima a pie propuesta por los estudios previos. En tabla 8 se detalla la frecuencia de los distintos rangos de distancia peatonal recorrida por los usuarios del sistema BRT y en la figura 24, se ilustra la distribución porcentual de los itinerarios a pie dentro de cada uno de los anillos de 200 metros

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Tabla 8. Análisis descriptivo de la variable distancia a pie a las estaciones del sistema BRT de Quito

Distancia (m)	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa
50-200	372	22,14 %
201-400	893	53,15 %
401-600	340	20,24 %
601-1460	75	4,46 %
Total	1680	100 %

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos de rastreo de septiembre del 2018

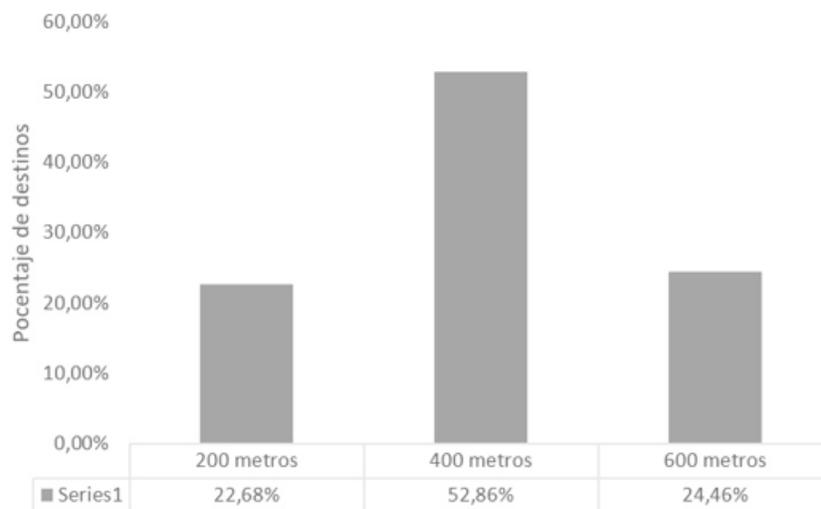


Figura 24. Distribución porcentual de los itinerarios peatonales recorrida desde las paradas a los destinos dentro de umbrales máximos de 200 metros

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos de rastreo de septiembre del 2018

6.1.2. Análisis de las variables que describen las cualidades del usuario del BRT y las características del viaje (OE 4)

El análisis descriptivo de las variables cualitativas recopiladas a partir de las 723 encuestas realizadas sugiere que el grupo mayoritario de usuarios del sistema tipo BRT corresponde al género femenino (52,14%) entre los 16 y 30 años, además, registran el nivel universitario como el

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE
LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

grado más alto que obtuvieron las personas encuestadas. En la tabla 9 aparece la distribución de la frecuencia de la variable categórica género.

Tabla 9. Distribución porcentual de la variable categórica género

Género	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa
Masculino	346	47,86 %
Femenino	377	52,14 %
Total	723	100 %

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos de la encuesta de septiembre del 2017

En la tabla 10 se exponen el análisis descriptivo de la variable composición de grupos de edad de los usuarios del sistema tipo BRT. La mayoría pertenece al rango entre los 16 y 30 años de edad que son los que presentan la frecuencia más alta.

Tabla 10. Análisis descriptivo de la variable cualitativa edad

Edad	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Menos de 30	395	54,63 %
Entre 31 y 45	219	30,29 %
Entre 46 y 60	84	11,62 %
Mayor de 60	25	3,46 %
Total	723	100 %

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos de la encuesta de septiembre del 2017

La tabla 11 presenta datos sobre la distribución de frecuencias de la variable nivel de estudios. Según los resultados, se observa que 321 personas, equivalente al 44,40% del total, han registrado la categoría universidad como el más alto nivel de educación alcanzado.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Tabla 11. Análisis descriptivo de la variable cualitativa nivel de estudios

Nivel de estudios	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Sin estudios	16	2,21%
Primaria	75	10,37%
Bachillerato	264	36,51%
Técnica	37	5,12%
Universidad	321	44,40%
Posgrado	10	1,38%
Total	723	100%

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos de la encuesta de septiembre del 2017

Las características del viaje se organizaron por el propósito de viaje y por la ruta peatonal seleccionada para acceder a las estaciones BRT. Respecto al motivo de viaje, el 37,62% mencionaron que tomaron el BRT por trabajo; mientras que los viajes para ir a una cita médica, realizar actividades de entretenimiento y ejercicios; resultaron menos populares. Lo que puede significar que el BRT es menos competitivo al momento de conectar los destinos con estas actividades o simplemente este resultado se puede interpretar como que las personas prefieren desarrollar esta actividad en equipamientos cercanos a su lugar de residencia. En la tabla 12 se describe la distribución porcentual del propósito del viaje.

Tabla 12. Análisis descriptivo de la variable cualitativa actividad que va a realizar

Actividad a realizar	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Estudiar	94	13,00 %
Trabajar	272	37,62 %
Regresar a la residencia	178	24,62 %
Gestionar	86	11,89 %
Comprar	62	8,58 %
Ejercitarse	5	0,69 %
Entretenimiento	9	1,24 %
Ir al médico	10	1,38 %
Pasear	7	0,97 %
Total	723	100%

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos de la encuesta de septiembre del 2017

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

La figura 25 presenta la distancia total recorrida registrada por cada una de las variables categóricas, desglosadas por género, nivel de estudios y propósito de viaje. Asimismo, incorpora la longitud total peatonal recorrida por los usuarios considerando la variable cuantitativa número de días que utilizan el sistema BRT.

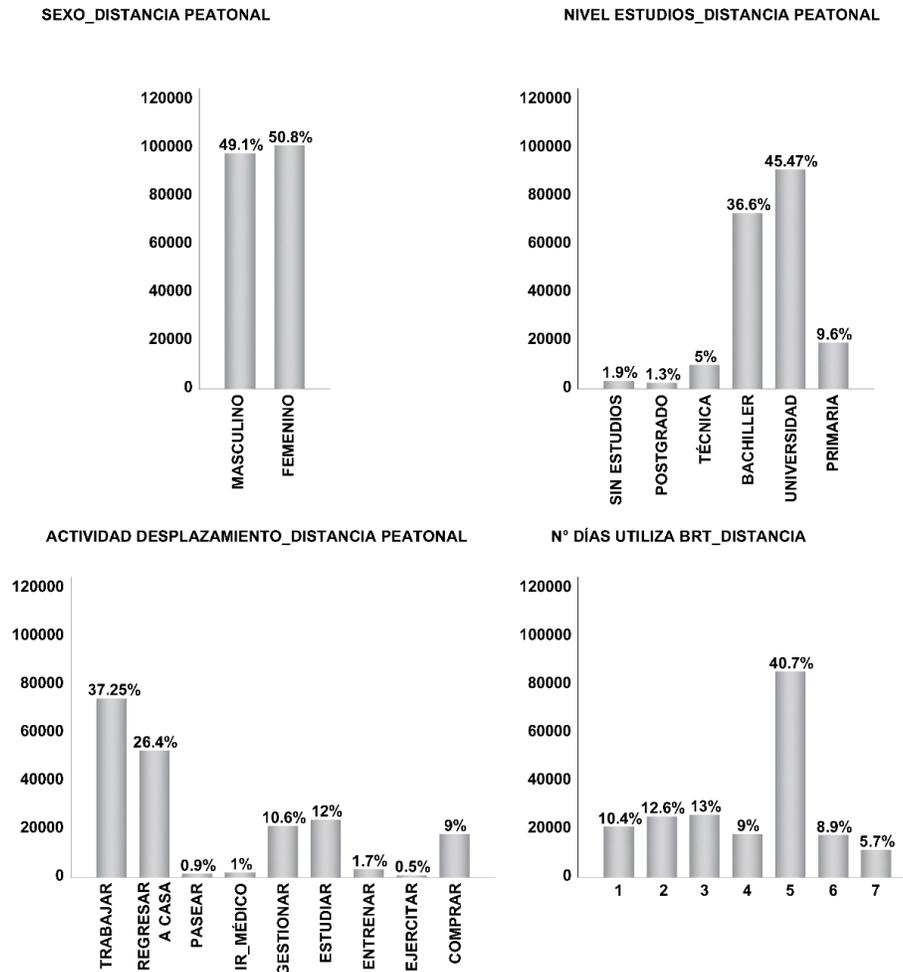


Figura 25. Distancia peatonal total recorrida en cada una de las variables categóricas y una variable cuantitativa

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos de la encuesta de septiembre del 2017

Por otro lado, el análisis de los desplazamientos peatonales para acceder a las estaciones BRT sugiere que los encuestados seleccionaron en primer lugar la ruta más corta (61,27 %), en segundo la más segura (24,34 %), en tercer lugar, una ruta continua (10,93 %) y por último una ruta

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE
LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

señalizada o con seguridad vial (3,46 %). Las opciones de la ruta con fachadas atractivas, sin obstáculos en la acera, con presencia de árboles, con menor pendiente y con aceras en buen estado; no generaron interés en los encuestados. En la tabla 13 se expone la frecuencia absoluta y relativa de los criterios de selección de ruta peatonal y en la figura 26 se representa la variable distancia a pie total recorrida en cada una de las variables categóricas de selección de la ruta.

Tabla 13. Análisis descriptivo de la variable cualitativa percepción de la selección de ruta para llegar a la estación del sistema Tipo BRT

Percepción del entorno	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Segura	176	24,34 %
Continuidad	79	10,93 %
Más directa	443	61,27 %
Señalizada	25	3,46 %
Total	723	100 %

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos de la encuesta de septiembre del 2017

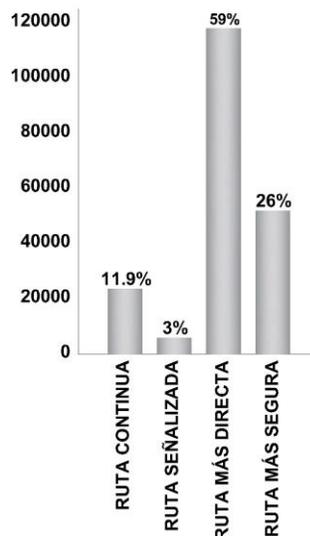


Figura 26. Distancia a pie total recorrida en cada una de las variables categóricas de selección de la ruta

Fuente: Elaborado por la autora a partir de los datos de la encuesta de septiembre del 2017

6.2. Cálculo de las variables urbanísticas, socioeconómicas y accesibilidad al destino (OE 5)

La densidad de población, la densidad de personas no residentes, la densidad de estrato social (medio-alta y alta), el índice de rodeo (relación entre la distancia real y la distancia ideal, euclidiana) y la accesibilidad regional (distancia entre la parada de origen y la de destino); son las variables que resultaron significativas en función de la distancia del acceso peatonal a las estaciones. La variable dependiente se obtuvo multiplicando los datos recopilados en la encuesta (número de cuadras recorrida) con el promedio de la longitud de los segmentos de red (longitud de viario entre dos intersecciones) de cada una de las estaciones.

La densidad de la población, de personas no residentes, de estrato social (medio-alta y alta); el índice de rodeo y la accesibilidad regional; se calcularon mediante superposición de capas en el Sistema de Información Geográfica (SIG). Así, al relacionar de forma independiente las capas a escala de manzana del número de sujetos residentes, de la suma de personas que estudian y trabajan y del número de individuos de los estratos sociales (alto), con el área de las isócronas de demanda de cada estación del sistema BRT; se obtuvieron las densidades antes citadas. En este proceso se estableció la proporción de cada población según el área en los bloques que resultaron fragmentados por la delimitación de las isócronas mediante el método de O'Neill et al. (1992), evitando así un doble recuento de cada conjunto de sujetos en las diferentes áreas de demanda.

El índice de rodeo resultó de dividir la distancia media de los itinerarios peatonales recorridos a través de la red entre la media de las líneas de deseo o distancias euclidianas. Esta asociación se sustenta en el supuesto de que cuando la distancia real (a través del viario) se parece más a la distancia del radio de las isócronas, el viario puede ser más accesible (Cardozo et al., 2010). La accesibilidad a escala regional, medida a través de la distancia desde la parada de origen hasta la estación (dato recopilado en la encuesta), se calculó con la herramienta Network Análisis del SIG.

La variable cualidad del itinerario del acceso peatonal a las estaciones seleccionadas resultó de preguntar en la encuesta aplicada el motivo de la selección de la ruta, de allí surgieron algunas alternativas como: la ruta segura, amplia, continua, con árboles, de menor pendiente, señalizada, directa o más rápida, etc. La opción ruta directa o más rápida fue la que presentó mayor frecuencia relativa en el análisis y la que mostró significancia en el modelo. La variable accesibilidad regional

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

se obtuvo de computar la distancia entre las estaciones de origen y destino a través de la red de los corredores Ecovía y Trolebús con el apoyo del SIG.

En cuanto a la escala de medición se utilizó la mesoescala que capturó condiciones promedio de las características sociodemográficas y del entorno urbano (el índice de rodeo), y a microescala las variables accesibilidad regional y la cualidad de recorrido de acceso peatonal a las estaciones.

6.2.1. Relación entre las variables urbanísticas, socioeconómicas, accesibilidad al destino y distancia a pie a las estaciones (OE 5)

Los datos de la encuesta aplicada en septiembre del 2017 al ingreso de las estaciones del BRT se emplearon para el análisis de la relación entre las variables socioeconómicas, urbanísticas y la distancia a pie.

El análisis estadístico descriptivo de las variables que participan en el modelo muestra que el promedio de personas que residen es de 58,38 personas por hectárea, con una variabilidad de 33,64 respecto a la media, lo que indica que los datos no están cercanos a la media, es decir, que están dispersos. La densidad poblacional de estrato alto en promedio es de 3978,92 personas por km² y tiene una variabilidad de 2294,12 personas en promedio por km², lo que quiere decir que los datos están cercanos a la media, pues su variabilidad no se acerca al valor máximo que se observa en la tabla.

La densidad poblacional de estrato medio alto en promedio es de 1360,59 personas por km², cuya variabilidad de los datos respecto a la media es un poco alta. La relación entre la distancia real y la distancia euclidiana (índice de rodeo) varía en un intervalo pequeño, teniendo así la misma amplitud en caso de un aumento de observaciones. Además, se aprecia que la dispersión de los datos en promedio respecto a su media es bastante baja, lo que refleja una buena agrupación de los datos alrededor de la media.

Respecto a la conexión regional, el intervalo de distancia que recorren las personas desde la parada de origen hasta la estación de destino está entre los 365,26 metros y los 18024,83 metros. La media que una persona circula en los buses BRT a lo largo de los corredores exclusivos Trolebús y Ecovía es de 4756,70 metros; los datos están dispersos alrededor de la media. El criterio de selección de

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

la ruta más corta no consta en este análisis descriptivo por ser una variable dicotómica. En la tabla 14 se muestra el análisis básico descriptivo de las variables urbanas, sociodemográficas y las características del viaje calculadas a partir de las áreas de servicio, según el procedimiento antes indicado, la distancia peatonal recorrida hacia las paradas BRT, así como la escala de medición.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Tabla 14. Descripción de las variables exploradas y su análisis estadístico descriptivo

Variable	Definición	Media	Desviación estándar	Mínima	Máxima	Nivel espacial	Fuente
Variable dependiente							
Log Distancia recorrida	Número de cuadras por el promedio de la distancia del arco de red	5,32	0,72	3,53	7,86	Estación	Encuesta
Variabes independientes							
Den_Pob Re_ Hec	Número de personas por ha	58,38	33,64	6,85	182,01	Estación	INEC
Log.Den PobRe_ Hec	Logaritmo de la población residente	1,68	0,30	0,84	2,26	Estación	INEC
Log_DenPobNoResidente	No. Personas que trabajan, estudian por ha	7,34	1,25	0	9,14	Estación	PEDs
Diseño							
Indi_Morfo	Área de servicio dividido para el área del “buffer”	0,55	0,08	0,35	0,70	Estación	SIG
Ind_rodeo	Índice distancia euclidiana dividido distancia real	0,77	0,04	0,65	0,85	Estación	SIG

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Características Socioeconómicas							
Den_EstratoAlto	Número de personas estrato alto por ha	3978,92	2294,12	0,00	8919,04	Estación	INEC
Den_Estrato Medio Alto	Número de personas estrato medio alto por ha	1360,59	2310,44	0,00	14927,17	Estación	INEC
Den_EstratoMedioTipico	Número de personas estrato medio típico por ha.	551,16	847,66	0,00	3871,51	Estación	INEC
Dias_utilizados	Días que utiliza BRT	4,22	1,61	1	7	Estación	INEC
Distancia_Destino	Distancia al destino m	4756,70	3536,87	365,26	18024,83	Estación	Encuesta

Nota: N=723.

Fuente: Elaboración de la autora a partir de los datos de la Secretaría de Movilidad, Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros (EPMTP)

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE
LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

En base a los resultados, la variable densidad de la población y la densidad no residente; ambas variables independientes, se transformaron por no cumplir con un criterio de distribución normal o su aproximación. Asimismo, se modificó la distancia peatonal recorrida para acceder a las estaciones BRT, variable dependiente por los resultados de normalidad y heterocedasticidad. El análisis descriptivo de la variable dependiente consta en la tabla 15.

Tabla 15. Análisis descriptivo de la variable dependiente

Variable	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
Distancia recorrida (metros)	5,32	0,72	3,53	7,86	0,04	-0,26

Fuente: Elaboración de la autora utilizando los datos de la encuesta septiembre 2017

Además, se elaboró el análisis de correlaciones entre la variable dependiente, la distancia peatonal a las estaciones y las variables independientes como: la densidad, la diversidad, el diseño y la accesibilidad. Los resultados muestran que el nivel de relación entre ellas es bajo (ver Anexo 1), lo cual puede darse por emplear el promedio de las variables medidas a microescala (datos agrupados).

Por ello, en el modelo se consideraron aquellas variables de interés para la investigación (que resultaron de la revisión bibliográfica) que registraron una mayor correlación con la variable dependiente. En la primera interacción, la distancia de la población no es significativa; únicamente cambió el nivel de significancia al incluir la densidad de la población no residente, la densidad del estrato (alto y medio alto), el índice de rodeo (relación entre la distancia real y la distancia euclidiana), la distancia al destino (accesibilidad regional) y la selección del itinerario más directa (percepción del usuario).

La ecuación para considerar la relación entre el entorno urbano, las características socioeconómicas y la distancia peatonal recorrida por los usuarios BRT se detalla a continuación.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

$$\begin{aligned} \text{LnDistanciaRecorrida} = & \beta_0 + \beta_1 \text{DistanciaDestino}_i + \beta_2 \text{IndiceRodeo}_i + \\ & \beta_3 \text{PercepciónRutaMásdirecta}_i + \beta_4 \text{LnPoblacional}_i + \beta_5 \text{DenEstratoMedioAlto}_i + \\ & \beta_6 \text{LnPobNoResidente}_i + \beta_7 \text{DenEstratoAlto}_i + \epsilon \end{aligned}$$

Donde: LnDistanciaRecorrida= logaritmo de la distancia peatonal recorrida desde el origen hasta la estación.

β_0 = intercepto

β_1 =coeficiente de estimación

Distancia Destino i = distancia a la parada destino BRT i

β_2 = coeficiente de estimación

Índice de rodeo = relación entre la distancia euclidiana y la distancia recorrida a través de la red

β_3 = coeficiente de estimación

PercepciónEntornoMasdirecta i = Criterio de selección de la ruta (más corta) i

β_4 = coeficiente de estimación

LnPoblacional i = Logaritmo de la población residencial alrededor de las estaciones BRT i

β_5 =coeficiente de estimación

DenEstratoMedioAlto i = población que corresponde al estrato medio alto localizada en la zona próxima a las estaciones BRT i

β_6 =coeficiente de estimación

LnPobNoReisidente i =población no residente registrada por el número de puestos de trabajo y estudio i .

β_7 =coeficiente de estimación

DenEstratoAlto i = densidad de estrato alto localizada alrededor de las estaciones BRT i

ϵ_i = error i

Los errores ϵ se consideran variables aleatorias independientes distribuidas normalmente con media cero y con desviación estándar σ .

Los coeficientes de las variables que intervienen en el modelo son los esperados. **Así, a medida que el índice de rodeo y la población residente incrementan, la distancia recorrida a pie es mayor.** Las variables que mantienen una relación inversa son la percepción de la ruta y los estratos sociales. Es decir, cuando los usuarios del sistema BRT tienen la percepción de haber seleccionado la ruta más corta, se espera que la distancia disminuya, lo mismo ocurre con el estrato social alto.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE
LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

En la tabla 16 se muestran los coeficientes de las variables que influyen en el modelo de regresión múltiple y sus niveles de significancia.

Tabla 16. Coeficientes de las variables que influyen en el modelo de regresión múltiple utilizado

Modelo	Coefficientes	Error estándar	T	(p-valor)
(Constante)	4,59	0,77	5,94	0,00***
Distancia_ParadaDestinoBRT	0,00	0,00	3,07	0,00**
Dias_utilizados	-0,03	0,02	-1,78	0,07
Indice Rodeo	1,49	0,75	1,99	0,05*
PercepciónEntornocontinuidad	-0,00	0,09	-0,03	0,98
PercepciónEntornoMasdirecta	-0,14	0,06	-2,21	0,03*
PercepciónEntornoSeñalizada	0,06	0,15	0,42	0,68
LnPoblacional	0,40	0,13	3,15	0,00**
Indi_Morfo	-0,71	0,36	-1,96	0,05
DenEstratoMedioAlto	-0,00	0,00	-5,47	0,00***
LnPobNoResidente	-0,04	0,02	-2,16	0,03*
DenEstratoAlto	-0,00	0,00	-3,40	0,00***

*Fuente: Elaboración de la autora utilizando los datos de la encuesta de septiembre del 2017 y de la ficha
PED_Quito 2018*

* $p < 0,05$

*** $p < 0,001$

En la tabla 17 se describen los resultados del modelo aplicado. El R cuadrado ajustado explica el 8 % aproximadamente de las variaciones de la distancia peatonal recorrida para acceder a las estaciones del BRT, respecto a las variables predictoras del modelo. Sin embargo, se consideran estos resultados como análisis previos que sustentan la aplicación de otro tipo de estadístico, como el multinivel que se desarrolla más adelante.

El modelo descrito anteriormente, indica una predicción real y significativa para explicar la distancia peatonal percibida, puesto que el p-valor = 0,007589. El estadístico de Durbin Watson,

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

D-W=1,82, el cual se localiza en el intervalo de [1,5-2,5], es decir, el coeficiente de relación es cero. Además, en el análisis se incluye el error estándar que es bajo lo que puede interpretarse que existe una menor dispersión de los datos, o que tiene un valor bajo de error estándar, lo cual produce intervalos de confianza más precisos con menor amplitud y con pruebas más potentes.

Tabla 17. Resultados del modelo de regresión múltiple

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar	Durbin-Watson	p-valor
0.30	0,09	0,08	0,69	1,82	0,007

Fuente: Elaboración de la autora utilizando los datos de la encuesta de septiembre del 2017 y de la ficha PED_Quito 2018

Según los resultados de F=69,82 y la significancia 0,000 de la técnica del análisis Anova, la relación entre las variables: distancia peatonal recorrida para acceder a las estaciones BRT y la variable predictora es significativa, tal como se aprecia en la tabla 18.

Tabla 18. Técnica de análisis de varianza (Anova)

Modelo	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Significancia
Regresión	34,99	11	32,22		
Residuo	338,93	711	0,477	69,82	0,00
Total	373,92	722	32,70		

Fuente: Elaboración de la autora utilizando los datos de la encuesta de septiembre del 2017 y de la ficha PED_Quito 2018

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

La variable dependiente (distancia peatonal recorrida para acceder a la estación BRT) sigue una distribución normal debido a que el valor de significancia es mayor a 0,05, como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Prueba de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	GI	Significancia
Residuos estandarizados	0,59	137	0,23

Fuente: Elaboración de la autora utilizando los datos de la encuesta de septiembre del 2017 y de la ficha PED_Quito 2018

En el modelo lineal previamente expuesto, los efectos de las variables del contexto se tratan como parámetros fijos, lo que limita las inferencias exclusivamente a aquellas que representan el contexto urbano y no a la variable de los individuos. En este estudio, los individuos están representados por la distancia a pie recorrida por los encuestados. En cambio, los modelos multinivel (Goldstein, 2003), también denominados modelos jerárquicos (Raudensbush y Bryk,2002), permiten solventar esta dificultad al distinguir los distintos niveles jerárquicos de las variables, separando la variabilidad de los individuos objeto de estudio de los grupos a los que pertenecen. Por ello, se construye el modelo multinivel con las variables explicadas anteriormente. En el presente modelo se considera como estructura jerárquica a las estaciones del sistema BRT (Zona), como nivel individual las características particulares de las personas encuestadas y como nivel de grupo al conjunto de observaciones del entorno urbano. En la tabla 20 se enlistan las variables con el nivel individual y el nivel de grupo.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE
LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Tabla 20. Especificación de las variables por nivel

Nivel individual	Nivel de grupo	Variable explicada	Variabes de jerarquización.
Percepción_Entronro	Ind_rodeo	Metros que camina	Zona
Distancia_Destino	Den_EstratoMedioAlto		
Edad	Dflot_po_Hec		
Total_Número_Usos @3_Dias_utiliza	Den_PobRe_Hec		
	Mix_suelo		
	@43_4acra		
	Sin_acera		
	paso_cebra		
	Transparencia		

Fuente: Elaboración de la autora utilizando los datos de la encuesta de septiembre del 2017 y de la ficha PED_Quito 2018

Los resultados del modelo nulo, con la variable de agrupación “nombre de la parada” (No_Parada), muestran que es pertinente proponer un modelo multinivel para explicar la variable de acceso a pie a las estaciones del sistema tipo BRT. Por un lado, la prueba de los criterios de información da cuenta del ajuste del modelo, tal como se muestra en la tabla 21 y la estimación de los efectos fijos en el modelo nulo es estadísticamente significativa; en consecuencia, el efecto de las zonas también es relevante. En la tabla 22 se presenta las estimaciones de los efectos fijos del modelo nulo.

Tabla 21. Criterios de información del modelo nulo

Criterio	Deviance
-2 log de la verosimilitud restringida (-2LL)	9879,28
Criterio de información de Akaike (AIC)	9883,28
Criterio de Hurvich y Tsai (AICC)	9883,29
Criterio de Bozdogan (CAIC)	9894,44
Criterio bayesiano de Schwarz (BIC)	9892,45

Fuente: Elaboración de la autora utilizando los datos de la encuesta de septiembre del 2017 y de la ficha PED_Quito 2018

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Tabla 22. Modelo Nulo, estimaciones de efectos fijos

Parámetro	Estimación	Error típico	Gl	T	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Intersección	260,42	15,51	24,88	16,79	0,00	228,47	292,38

Fuente: Elaboración de la autora utilizando los datos de la encuesta de septiembre del 2017 y de la ficha PED

Además, las estimaciones del parámetro de covarianza también son significativas, lo que indica que la distancia a pie hacia las estaciones varía de manera significativa en cada parada. En la tabla 23 se presentan los niveles de significancia de las covariancias, y la figura 27 representa la distribución de los datos de la variable dependiente en cada parada.

Tabla 23. Modelo Nulo, estimaciones de parámetros de covarianza

Parámetro	Estimación	Error típico	Wald Z	Sig.	Intervalo de confianza 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
Residuos	49159,79	2621,99	18,74	0,00	44280,27	54577,01	
No_Parada	Varianza	3586,47	1551,03	2,31	0,02	1536,56	8371,13

Fuente: Elaboración de la autora utilizando los datos de la encuesta de septiembre del 2017 y de la ficha PED_Quito 2018

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

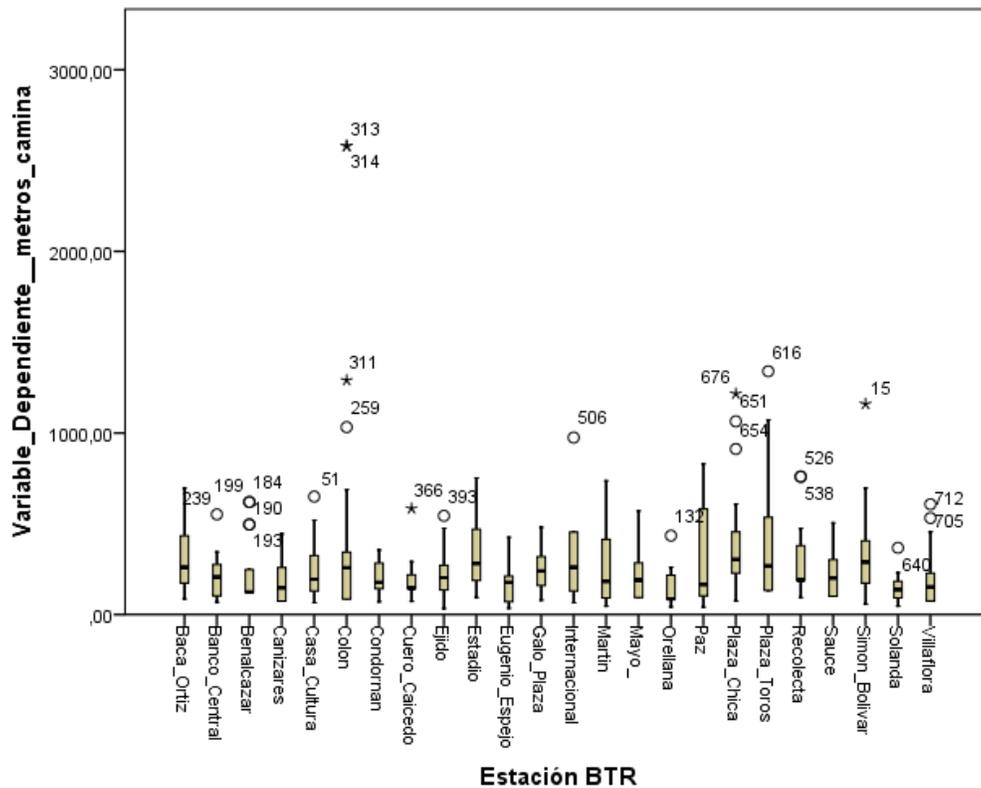


Figura 27. BoxPlot de la variable recorrida en metros en cada estación

Fuente: Elaboración de la autora utilizando los datos de la encuesta de septiembre del 2017 y de la ficha PED_Quito 2018

Las covariables del modelo tales como: el paso cebrado, la señal de tránsito peatonal, la transparencia (representadas por los segmentos con permeabilidad en los cerramientos de las viviendas próximas al espacio público) y la falta de acera; se calculan a partir del promedio de los segmentos del viario con estos criterios. El índice de rodeo que es la relación entre la longitud medida a través de la red y la euclidiana y la distancia al destino (recorrido en el corredor del sistema BRT medido desde la parada de origen a la del destino), también corresponden a la media de los valores obtenidos en cada parada. El dato de los días que utilizan el transporte corresponde a la información individual facilitada por cada uno de los encuestados.

Con estas covariables y los factores aleatorios se expresa matemáticamente el modelo multinivel:

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE
LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

$$y_{ij} = \delta + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + (c + u_i + u_j + u_{ij} + e)$$

Donde, las variables $\alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij}$ son variables o covariables del modelo, es decir: los días que utiliza, la distancia al destino, el índice de rodeo, el paso cebra y el número de usos del suelo; y las variables dentro del paréntesis representan a los factores aleatorios.

Los resultados de estimación de efectos fijos revelan que los días que los usuarios utilizan el sistema BRT, la distancia al destino, el índice de rodeo, el paso cebra y el número de usos del suelo, son covariables que tienen un impacto en la variable dependiente que es la distancia peatonal hacia las estaciones. Por el contrario, se observa que las variables: transparencia y sin acera no muestran significancia estadística en el análisis. No obstante, se han mantenido en el modelo debido a que contribuyen de manera significativa a las covariables consideradas. La tabla 24 proporciona detalles sobre la significancia de cada una de las variables en el modelo.

Tabla 24. Estimación de efectos fijos del modelo multinivel

Parámetro	Estimación	Error típico	Gl	t	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Intersección	-98,15	244,97	22,65	-0,40	0,69	-605,35	409,04
@3_Dias_utiliza	-13,94	5,18	714,78	-2,69	0,01	-24,12	-3,77
Distancia_Destino	0,01	0,00	644,52	3,46	0,00	0,00	0,01
Transparencia	-1,55	0,79	25,47	-1,95	0,06	-3,19	0,08
Ind_rodeo	765,79	320,83	21,96	2,38	0,03	100,36	1431,22
paso_cebra	3,13	1,09	24,02	2,87	0,01	0,88	5,38
Total_Número_Usos	-3,91	1,39	22,62	-2,81	0,01	-6,80	-1,03
Sin_acera	2,67	1,59	15,11	1,67	0,12	-0,73	6,07

* $p < 0,05$

*** $p < 0,001$

*Fuente: Elaboración de la autora utilizando los datos de la encuesta de septiembre del 2017 y de la ficha
PED_Quito 2018*

Los signos de las covariables coinciden con las expectativas teóricas. Se observa una correlación significativa entre la distancia a pie hacia las estaciones y tanto el índice de rodeo como la

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE
LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

presencia de paso cebra. Esto sugiere que a medida que mejora la accesibilidad y la seguridad vial para los peatones, la variable dependiente tiende a aumentar. Además, se evidencia que la distancia al destino se relaciona de manera significativa con la longitud que caminan hacia las estaciones. Esto implica que a medida que la accesibilidad de los sistemas de transporte BRT a través de los carriles exclusivos incrementa, los usuarios tienden a caminar distancias más largas hacia las estaciones.

En contraste, se observa una relación inversa entre el número de días de uso del sistema BRT y el número de usos del suelo con la distancia recorrida a pie hacia las estaciones. Estos hallazgos sugieren que la distancia a pie disminuye cuando se incrementa el número de días que utilizan el sistema BRT; mientras que incrementa cuando el número de usos del suelo es menor. Es decir, las personas tienden a caminar una mayor distancia hacia las estaciones del sistema BRT en zonas monofuncionales.

A partir de los resultados del modelo, se deduce que tanto la variable de nivel 1 como las variables de nivel 2 contribuyen a la varianza de los metros que camina una persona. La variable “No_Parada” de nivel 2 y las variables significativas del nivel 1 resultan más explicativas que la varianza de la variable respuesta.

Al analizar los parámetros de la covarianza de la variable “No_Parada” se llega a la conclusión de que esta como variable de agrupación respeta la estructura jerárquica de los datos. En la tabla 25 se observa la información de los parámetros de covarianza.

Tabla 25. Estimación de efectos de parámetros de covarianza

Parámetro	Estimación	Error típico	Wald Z	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Residuos	48260,55	2575,29	18,74	0,00	43468,06	53581,43
Intersección						
[sujeto = No_Parada]	1912,58	1129,56	1,69	0,09	601,04	6086,04

Fuente: Elaboración de la autora utilizando los datos de la encuesta de septiembre del 2017 y de la ficha PED_Quito 2018

6.3. Cálculo y análisis descriptivo de las variables (objetivos 6 y 7)

La densidad de la población, la mezcla de usos del suelo, el diseño y la distancia al centro de negocios (CBD, por sus siglas en inglés), son los dominios que resultaron significativos en estudios previos. Por ello, se calcularon las variables que los representan con los datos del entorno inmediato a las 42 estaciones del sistema de transporte público tipo BRT. Puesto que la unidad de análisis es la estación fue necesario agregar aquellos datos colectados a escala de segmento.

A continuación, se describe el proceso de cálculo de las variables de análisis.

Al superponer el mapa con el número de residentes a escala de manzana (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010) sobre las áreas de servicio, se obtiene la población dentro del área de captación de demanda. Allí no se considera el número total de los habitantes de las manzanas que se fraccionan por estar localizadas en el borde, de manera que, para distribuirlos según el área que les corresponde se emplea el método de proporción de áreas (O'Neill et al., 1992). Con estos datos de población, la densidad se calcula sobre las superficies de las áreas de servicio. Asimismo, la densidad edificatoria alta, media, baja y la densidad no residente (número de personas que trabajan en las entidades públicas + estudiantes + trabajadores de locales comerciales), se calcula con el número de segmentos del viario que tienen estas características del entorno por hectárea.

El índice de mezcla de usos del suelo resulta de la relación entre el número de usos del suelo de cada estación y el número de usos deseados como: educación, comercio, oficinas, equipamientos, servicios, recreación, salud, administración pública, entre otros (Estupiñán y Rodríguez, 2008). La densidad de los diversos usos del suelo como: educación, comercio, centros comerciales, industria, vivienda unifamiliar, multifamiliares, vacante, recreación o administración pública, se obtiene de dividir el número de segmentos de cada uno de estos usos para el área de servicio (Vergel-Tovar y Rodríguez, 2014, 2018). Algunos de estos usos del suelo se integran para formar una sola variable, como es el caso de la densidad comercial y oficina, o la densidad de educación y administración pública, fusiones que responden a criterios de actividades económicas de la ciudad.

También mediante superposiciones de capas se calculan las variables del dominio diseño: la longitud del viario peatonal y, a partir de la misma, su densidad dentro del área de servicio (Cardozo et al., 2010; Tu et al., 2018; Vergel-Tovar y Rodríguez, 2018). En otras palabras, es la longitud de la red en función de su área de servicio. El índice de la forma o configuración urbana

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

se obtiene de la relación entre el área de la isócrona que se calcula con la distancia media recorrida a través del viario y el área de servicio, *buffers*, que se calcula con la distancia euclidiana.

Este indicador parte de un supuesto, existe una relación entre la forma de las ciudades y el modo de organizar su espacio interior, y sus resultados oscilan de 0 a 1 (Haggett, 1976). Si el resultado está más cerca de 1 la organización del espacio interior es más compacta y el entramado vial es más reticular, lo que implicaría un mayor número de intersecciones cuya variable se relaciona con la demanda del transporte (Cardozo et al., 2010; Lin y Shin, 2008; Rodríguez y Joo, 2004), mientras que si se aproxima a 0 la trama es irregular.

La variable densidad de transparencia se obtiene dividiendo el número de segmentos que representan más del 40 % de predios con permeabilidad entre el área de servicio. La variable independiente ancho de acera corresponde al número de segmentos que tienen más de tres metros y se encuentran dentro del contexto inmediato de las estaciones. La seguridad vial se calcula con el número de segmentos que tienen semáforo peatonal, paso cebra, rampa, señalización y el área de servicio (Estupiñán y Rodríguez, 2008).

La distancia al centro de negocio, que pertenece al dominio de accesibilidad, se obtiene al medir la distancia entre la parada de origen y el CBD de la ciudad (Cardozo et al., 2010; Ewing y Cervero, 2010; Vergel-Tovar y Rodríguez, 2014). En la tabla 26 aparecen todas las variables de estudio, la definición específica, la escala de recolección y la fuente de la información.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Tabla 26. Variables del entorno construido, definición, escala de recopilación de datos y fuente

Variables	Descripción	Escala	Fuente
Ln_Usuarios_2015	No. Pasajeros diarios del sistema BRT de Quito 2015	Estación	EPMTP
DENSIDAD			
DenPo_Ha	Densidad población (relación número de personas por ha)	Estación	INEC (2010)
Densidad no residentes	Densidad (número de personas que estudian y trabajan por ha)	Estación	MEC, MTRH
Den_Alta_Ha	Densidad edificatoria (número de segmentos de alta densidad por ha)	Segmentos	PEDS
Den_Media_Ha	Densidad edificatoria (número de segmentos de media densidad por ha)	Segmentos	PEDS
Den_Baja_Ha	Densidad edificatoria (número de segmentos de baja densidad por ha)	Segmentos	PEDS
MEZCLA DE USOS DE SUELO			
ÍndiceMezcla	Índice de mezcla (número de usos de cada parada/número de usos esperados) *100	Segmentos	PEDS
Den_Resi_Ha	Densidad uso residencial (número de segmentos residencia por ha)	Segmentos	PEDS
Den_Multi_Ha	Densidad multifamiliar (número de segmentos multifamiliares por ha)	Segmentos	PEDS
Den_Edu_Ha	Densidad educación (número de segmentos educación por ha)	Segmentos	PEDS
DenAdPublic_ha	Densidad entidades públicas (número de segmentos administrativos por ha)	Segmentos	PEDS
Den_Com_ha	Densidad comercio (número de segmentos de comercio local por ha)	Segmentos	PEDS
Den_Ccomercial_ha	Densidad centros comerciales (número de segmentos centros comerciales por ha)	Segmentos	PEDS
Den_Idustria_ha	Densidad industria (número de segmentos industria por ha)	Segmentos	PEDS
Den_Vacante_ha	Densidad vacante (número de segmentos vacantes por ha)	Segmentos	PEDS
Den_MixVertical_ha	Densidad mezcla vertical (número de segmentos con diversos usos vertical por ha)	Segmentos	PEDS

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA
CIUDAD DE QUITO

Den_Comerci_Ofi_ha	Densidad mezcla comercio y oficina (número de segmentos con mezcla por ha)	Segmentos	PEDS
Den_Recre_Ha	Densidad recreación (número de segmentos recreación por ha)	Segmentos	PEDS
DenEdu_Publi_Comer_ha	Densidad educación, entidad pública, comercio (número de segmentos, educación pública y comercio por ha.)	Segmentos	PEDS
Ind_Serv_ha	Densidad educación, salud y cultura (número de segmentos de estos usos por ha)	Segmentos	PEDS
DISEÑO			
Den_Segmento_ha	Densidad de segmento (número de segmentos por ha)	Estación	SIG
Den_Red_ha	Densidad de red (longitud de red por ha)	Estación	SIG
Densidad_Facilidades_Peatonales	Densidad de facilidades peatonales (número de segmentos peatonales, recreación por ha)	Segmentos	PEDS
Prom_Pendiente_%	Pendiente (promedio de la pendiente)	Segmentos	PEDS
Den_Transparencia_ha	Densidad de transparencia a pie de calle (número de segmentos con transparencia por ha)	Segmentos	PEDS
Den_Acera 3-4m_ha	Densidad de acera 3-4 metros (número de segmentos con acera de 3-4 m por ha)	Segmentos	PEDS
ÍndiceMorf	Índice de la forma (área servicio con distancia medida a través de la red/ <i>buffer</i>)	Estación	SIG
Den_SegVial_Ha	Densidad de seguridad vial (número de segmento semáforo peatonal, paso cebra, rampa, señalización por ha)	Segmentos	PEDS
Acceso al Destino			
Dist_CentroQuitoKm	Distancia al centro de negocios de la ciudad (CBD)	Estación	SIG
Acceso a las estaciones BRT			
Den_Destino_100	Densidad destinos 100 m (número de destinos por ha)	Individual	Encuesta
Destino_Acti_200m	Densidad destinos 200 m (número de destinos por ha)	Individual	Encuesta
Destino_300 metros	Densidad destinos 300 m (número de destinos por ha)	Individual	Encuesta
Destino_400 metros	Densidad destinos 400 m (número de destinos por ha)	Individual	Encuesta
Destino_500 metros	Densidad destinos 500 m (número de destinos por ha)	Individual	Encuesta
Destino_600 metros	Densidad destinos 600 m (número de destinos por ha)	Individual	Encuesta
Den_DestEdu	Densidad destinos educación (número de destinos educación por ha)	Individual	Encuesta

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA
CIUDAD DE QUITO

Den_DestEntidad	Densidad destinos entidades públicas (número de destinos entidades públicas por ha)	Individual	Encuesta
Den_DestComer	Densidad destinos comercio (número de destinos comercio por ha)	Individual	Encuesta
Den_DestServ	Densidad destinos servicios (número de destinos servicios por ha)	Individual	Encuesta
Den_DestResi	Densidad destinos residencia (número de destinos residencia por ha)	Individual	Encuesta
INTERMODALIDAD			
Den_Parq_Inf_ha	Densidad de parqueadero informal (número de segmentos parqueadero informal por ha)	Segmentos	PEDS
Dentotal_Parq_ha	Densidad de parqueadero formal e informal (número de segmentos parqueadero formal e informal por ha)	Segmentos	PEDS
Den_ParadaBus_ha	Densidad de paradas de bus (número de segmentos paradas bus por ha)	Segmentos	PEDS
IndMoto_ha	Densidad transporte motorizado número de segmentos transporte motorizado por ha)	Segmentos	PEDS
DenCiclo_ha	Densidad ciclovía (número de segmentos ciclovía por ha)	Segmentos	PEDS
Den_Sen_ha	Densidad senderos peatonales (número de segmentos senderos peatonales por ha)	Segmentos	PEDS
Ind_NoMoto_ha	Densidad transporte no motorizado (número de segmentos transporte no motorizado por ha)	Segmentos	PEDS

Fuente: Elaboración de la autora utilizando los datos del INEC (2010), de la EPMT PQ (2012) y de información recopilada a través del instrumento PEDS_Quito (2018)

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

Las variables descritas anteriormente se examinan en el entorno urbano próximo de las estaciones del sistema BRT de Quito a causa de que estos factores, según los estudios empíricos, juegan un papel importante al momento de predecir el número de pasajeros (Boarnet y Crane, 2001; Cardozo et al., 2010; Cervero y Kockelman, 1997; Vergel-Tovar y Rodríguez, 2018). Para ello se aplica el método de regresión múltiple, que es un modelo alternativo para predecir la demanda (Cervero, 2006).

El resultado del análisis descriptivo de las variables cuantitativas que participan en el modelo de estimación de la demanda de las estaciones del sistema tipo BRT (centro de negocio de la ciudad de Quito, índice de mezcla, densidad de los equipamientos de administración pública, densidad del ancho de la acera de entre 3 a 4 metros y la densidad de la red del viario), sugiere que la desviación típica (medida de dispersión) del logaritmo del número de usuarios del 2015 es 0,31. Esto quiere decir que, en media la diferencia entre los logaritmos de las distintas paradas es de 3,31, el 25 % de los datos es menor o igual a 3,33 mientras que el 75 % de los datos es menor o igual a 3.81.

La desviación típica de la densidad de la población es 134,78 esto quiere decir que en media la diferencia entre la densidad poblacional por hectárea en las distintas paradas es de 134,78, el 25 % de los datos es menor o igual a 98,61, mientras que el 75 % de los datos es menor o igual a 210,55. La desviación típica de la densidad del ancho de la acera entre 3 a 4 m es 0,24. Esto quiere decir que, en promedio, la diferencia entre la densidad de aceras de entre 3 y 4 m en las distintas paradas es de 0,24 ha, el 25 % de los datos es menor o igual a 0,08 ha, mientras que el 75 % de los datos es menor o igual a 0,44 ha.

La desviación típica de la distancia al centro de negocio de la ciudad de Quito es 4,12. Esto quiere decir que en media la diferencia entre la distancia al centro en las distintas paradas es de 4,12 km, el 25% de los datos es menor o igual a 1,78 km, mientras que el 75 % de los datos es menor o igual a 7,82 km. La desviación típica de la densidad del equipamiento de la administración pública es 0,16. Esto quiere decir que en media la diferencia entre la densidad de la administración pública en las distintas paradas es de 0,16 ha, el 25 % de los datos es menor o igual a 0,06 ha, mientras que el 75 % de los datos es menor o igual a 0,25 ha.

TRANSPORTE Y ENTORNO CONSTRUIDO: ANÁLISIS DE LAS ÁREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DEL BRT EN LA CIUDAD DE QUITO

La desviación típica de densidad del viario es 0,04. Esto quiere decir que en media la diferencia entre la densidad de la red en las distintas paradas es de 0,04 ha, el 25 % de los datos es menor o igual a 0,19, mientras que el 75 % de los datos es menor o igual a 0,23. La desviación típica del índice de la mezcla es 16,27. Esto quiere decir que en media la diferencia entre el índice de la mezcla en las distintas paradas es de 16,27, el 25 % de los datos es menor o igual a 50, mientras que el 75 % de los datos es menor o igual a 76, 69.

En la tabla 27 se expone el análisis descriptivo de la variable dependiente (número de usuarios del sistema BRT) y de las variables independientes. De estas variables, la densidad de la población residente y el número de pasajeros se transformaron (logaritmo) para lograr una mejor normalidad (Tabachnick et al., 2007).

Tabla 27. Estadísticas descriptivas, número de usuarios del sistema BRT de Quito y variables del entorno construido

VARIABLES	Mínimo	Mediana	Media	Máxima	Desviación típica
Ln_Usua2015	2,80	3,60	3,54	3,96	0,31
Densidad					
DenPo_Ha	23,70	145,75	183,64	653,69	134,78
Den_Alta_Ha	0,00	0,33	0,37	1,98	0,34
Den_Media_Ha	0,05	0,85	0,88	2,73	0,54
Den_Baja_Ha	0,00	0,67	0,76	3,40	0,70
Mezcla de usos de suelo					
ÍndiceMezcla*	28,57	64,29	63,95	92,86	16,27
Den_Resi_Ha	0,77	2,68	3,19	7,8	1,51
Den_Multi_Ha	0,10	1,09	1,17	4,27	0,75
Den_Edu_Ha	0,04	0,25	0,29	0,73	0,15
DenAdPublic_ha	0,00	0,15	0,18	0,86	0,16
Den_Com_ha	0,00	0,12	0,16	0,81	0,18
Den_Ccomercial_ha	0,00	0,00	5,04	25,10	7,18
Den_Industria_ha	0,00	0,00	0,04	0,37	0,07
Den_Vacante_ha	0,00	0,18	0,24	1,03	0,21
Den_MixVertical_ha	0,28	1,37	1,58	3,43	0,67
Den_Comerci_Ofi_ha	0,00	0,12	0,16	0,81	0,18
Den_Recre_Ha	0,00	0,16	0,31	1,76	0,41
DenEdu_Publi_Comer_ha	0,70	3,48	4,21	12,65	2,87
Ind_Serv_ha	0,00	0,56	0,53	1,46	0,40
Diseño					
Den_Segmento_ha	1,08	2,09	2,35	5,07	0,95
Den_Red_ha	0,11	0,21	0,21	0,29	0,04
Densidad_Facilidades_Peatonales	33,33	66,67	64,81	100,00	15,13
Prom_Pendiente_%	1,65	2,74	3,31	8,26	1,63
Den_Transparencia_ha	0,11	1,42	1,51	3,41	0,65
Den_Acera 3-4m_ha	0,00	0,25	0,27	0,85	0,24
ÍndiceMorf	0,18	0,32	0,33	0,59	0,09
Den_SegVial_Ha	0,22	2,01	2,09	4,68	1,12
Acceso al destino					
Dist_CentroQuitoKm	0,69	4,28	5,37	15,31	4,12
Dist_Paradas_Km	0,18	0,32	0,32	0,47	0,06

Acceso a las estaciones BRT

Den_Destino_100	0,00	2,52	4,42	29,29	6,25
Destino_Acti_200m	0,00	20,26	27,27	112,96	22,91
Destino_300m	9,35	27,53	31,04	68,77	13,56
Destino_400m	27,01	59,05	60,92	116,74	20,54
Destino_500m	0,00	11,89	12,51	42,10	7,23
Destino_600m	2,75	25,48	27,35	75,64	16,16
Den_DestEdu	0,00	5,80	8,60	24,69	7,23
Den_DestEntidad	0,00	3,07	7,37	39,91	10,32
Den_DestComer	7,95	40,43	45,04	130,61	27,35
Den_DestServ	1,96	9,28	11,87	39,75	8,80
Den_DestResi	1,59	30,39	39,02	116,05	30,95
Intermodalidad					
Den_Parq_Inf_ha	0,00	0,05	0,16	0,71	0,19
Dentotal_Parq_ha	0,00	0,45	0,59	1,61	0,48
Den_ParadaBus_ha	0,00	0,19	0,19	0,53	0,12
IndMoto_ha	0,05	0,38	0,81	4,68	1,04
DenCiclo_ha	0,00	0,04	0,10	0,76	0,15
Den_Sen_ha	0,00	0,08	0,40	2,92	0,66
Ind_NoMoto_ha	0,05	0,38	0,81	4,68	1,04

Nota: N=42.

Fuente: Elaborada por la autora partir del INEC (2010), de la EPMTQP (2012) y de información recopilada a través del instrumento PEDS_Quito (2018)

Adicionalmente, se examinaron las correlaciones entre las variables que intervienen en el modelo. El coeficiente de correlación es 0,00017, lo que muestra que no existe correlación. Se utiliza la prueba de Barlett, y se tiene que el valor es cercano a 0, lo cual demuestra que las variables no están correlacionadas. En la tabla 28 se exponen las cifras de las correlaciones entre las variables.

Tabla 28. Correlaciones entre la variable dependiente (número de pasajeros del sistema BRT) y las variables independientes

Variables	Índice Mezcla	Índice_Facilidades_Peatonales	Dist_CentroQuitoKm	Den_Edu_Ha	Den_Co_m_ha	Den_Red_Km2	Ind_MixVertical_ha	Den_Resi_Km2	Ind_Serv_ha	Dentotal_Parq_ha	Ind_NoMoto_ha	DenAdPublic_ha
ÍndiceMezcla	1	0,09	-0,55	0,19	0,53	0,11	0,27	-0,2	0,82	0,33	-0,11	0,59
Índice_Facilidades_Peatonales	0,09	1	-0,24	-0,14	0,35	0,07	0,06	-0,14	0,22	0,36	-0,12	0,07
Dist_CentroQuitoKm	-0,55	-0,24	1	0,01	-0,5	0,2	0,09	0,42	-0,54	-0,63	0,41	-0,32
Den_Edu_Ha	0,19	-0,14	0,01	1	-0,02	0,36	0,28	0,33	0,17	-0,09	0,35	0,11
Den_Co_m_ha	0,53	0,35	-0,5	-0,02	1	0,15	0,28	-0,14	0,62	0,45	-0,2	0,43
Den_Red_Km2	0,11	0,07	0,2	0,36	0,15	1	0,55	0,57	0,29	-0,06	0,5	0,05
Ind_MixVertical_ha	0,27	0,06	0,09	0,28	0,28	0,55	1	0,7	0,29	-0,01	0,25	0,08
Den_Resi_Km2	-0,2	-0,14	0,42	0,33	-0,14	0,57	0,7	1	-0,21	-0,18	0,36	-0,4
Ind_Serv_ha	0,82	0,22	-0,54	0,17	0,62	0,29	0,29	-0,21	1	0,37	0,01	0,64
Dentotal_Parq_ha	0,33	0,36	-0,63	-0,09	0,45	-0,06	-0,01	-0,18	0,37	1	-0,24	0,13
Ind_NoMoto_ha	-0,11	-0,12	0,41	0,35	-0,2	0,5	0,25	0,36	0,01	-0,24	1	0,18
DenAdPublic_ha	0,59	0,07	-0,32	0,11	0,43	0,05	0,08	-0,4	0,64	0,13	0,18	1

Fuente: Elaborada por la autora a partir del INEC (2010), de la EPMT PQ (2012) y de información recopilada a través del instrumento PEDS_Quito (2018)

6.3.1. Modelo de demanda de estimación directa de 42 estaciones del sistema BRT de Quito

El modelo de regresión logarítmica lineal se elaboró con el apoyo del programa estadístico SPSS versión 22. Los resultados del modelo final muestran que existe relación entre la cantidad de ingresos a pie (2015), la distancia al centro de negocios de la ciudad, la densidad de la acera que mide entre 3 a 4 metros y la densidad de la administración pública y los destinos dentro de los 400 metros. Previo a esta conclusión, se analizó el comportamiento de cada una de las variables. Así, los coeficientes del primer modelo, en el que interviene la variable logaritmo de la densidad residencial y la distancia al centro de negocio se interpretan considerando las demás variables con puntuación cero. El número de abordajes esperado llega a 4 aproximadamente con un p-valor = 0,000. La distancia al centro de negocios de la ciudad registró un $p=0.000 < 0,05$, es decir, a medida que disminuye un kilómetro de distancia a la centralidad se esperaría que el número de abordajes aumente en un 0,039 % si se considera a las demás variables con puntuación cero. La variable logaritmo de la densidad de la población residencial registró el p-valor = 0,058 $> 0,05$, después de ser controlada con la variable distancia al centro de negocio. El modelo con estas variables interpretó el 46 % (R cuadrado ajustado es de 0,46).

El valor estadístico de Durbin Watson es de 1.679, el cual se localiza en el intervalo [1,5-2,5], por lo tanto, el coeficiente de relación es cero. Según el análisis de varianza (Anova), la relación entre el número de ingresos del BRT y la distancia al centro de negocio es significativa debido al $F= 18,454$ y la significancia de 0,000.

Al introducir en este modelo de regresión múltiple el índice de la mezcla de usos del suelo y la densidad del equipamiento de la administración pública, que son variables que representan al domino diversidad, los resultados manifiestan que la densidad de la población pierde significancia (p-valor=0,233). Las variables con significancia y con signo del coeficiente positivo: el índice de mezcla (p-valor = 0,000) y la densidad de los servicios públicos administrativos presentan un p-valor = 0,029. A diferencia de la variable distancia al centro de negocios (Dist_CentroQuitoKm) con un p-valor = 0,000 que registró significancia con signo negativo.

Los coeficientes de cada variable se interpretan considerando que la puntuación de las demás es cero. El número de abordajes esperado es de aproximadamente 3 (p-valor= 0,000). La distancia al centro de negocios de la ciudad registró signo negativo, es decir, mientras disminuya un kilómetro la distancia al centro de negocios se esperaría que el número de

abordajes aumente en un 0,039 %. En cambio, las variables administración pública e índice de mezcla aportaron con signos positivos para interpretar el modelo. Esto implica que a medida que incrementan en una puntuación un servicio administrativo o uso de suelo adicional por hectárea, se esperaría que el número de pasajeros incremente un 0,517 % y 0,009 % respectivamente.

El R cuadrado ajustado es de 0,713, es decir, mantiene una mayor correlación que el R cuadrado ajustado del modelo de densidad (0,460). El valor estadístico de Durbin Watson es de 2,083 el cual se localiza en el intervalo [1,5-2,5]. Esto significa que hay independencia en los residuos. Según el análisis de varianza (Anova), las variables que representan la mezcla de usos de suelo son estadísticamente significativas debido a que $F=21,323$ y el nivel de significancia es 0,000. El modelo de regresión logarítmica con todas las variables que resultaron significantes se representa en la siguiente ecuación:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln_DenPo_Ha } i + \beta_2 (- \text{Centralidad}) i + \beta_3 \text{Den_Acera 3-4m_k2 } i + \beta_4 \text{Destino 400 m} + \varepsilon_i$$

Donde:

y_i = número de abordajes en la estación BRT i

β_0 = *intercepto*

β_1 = coeficiente de estimación

$\text{Ln_DenPo_Ha } i$ = Logaritmo de la densidad de la población residente alrededor de la estación i

β_2 = coeficiente de estimación

Centralidad i = Distancia al centro de negocios de la ciudad de Quito (CBD) de la estación i

β_3 = coeficiente de estimación

$\text{Den_Acera 3-4m_ha } i$ = Densidad del ancho de acera por k^2

β_4 = coeficiente de estimación

$\text{Destino a 400 } i$ = No de destinos localizados dentro de los 400 metros i

ε_i = error i

Los resultados del modelo de regresión logarítmica al incluir las variables del dominio de diseño muestran que la densidad de la población continúa siendo una variable no predictora debido a que el p-valor = 0,271. Mientras que, la densidad de la acera de ancho entre 3 – 4 m

con p-valor = 0,02 y la densidad de la administración pública con p-valor = 0,001, aportaron con signo positivo. La distancia al centro de negocio con un p-valor = 0,000 y los destinos a 400 m con p-valor = 0,023 obtienen significancia negativa. En la tabla 29 se muestran los valores de los coeficientes de las variables.

Tabla 29. Coeficientes de las variables que influyen en el modelo de demanda del BRT de Quito

Variable	Coefficiente no estandarizado B	Error estándar	Coefficiente estandarizado Beta	t	Sig.
(Constante)	3,23	0,39		8,10	0,00***
Dist_CentroQuitoKm	-0,04	0,00	-0,51	-4,18	0,00***
Den_Acera 3-4m_km2	0,00	0,00	0,32	3,26	0,00**
DenAdPublic_Km2	0,01	0,00	0,51	3,82	0,00**
LnDenPo_Ha	0,2	0,18	0,18	1,12	0,27
Destino_400m	-0,00	0,00	-0,22	-2,371	0,02*

Variable dependiente Ln_Us2015 * p <0,05, * p <0,01, ** p <0,001***

Fuente: Elaborada por la autora a partir del INEC (2010), de la EPMTQP (2012), rastreo (2018) y PEDS_Quito (2018)

El peso de cada variable se interpreta considerando las demás variables con puntuación cero. El número de abordajes esperados es de 3 aproximadamente con p-valor= 0,000. La densidad de la acera (Den_Acera 3-4m_Km2) registró significancia positiva, es decir, mientras aumenta la longitud de la acera que mide entre 3-4 m por Km2 se esperaría que aumente 0,004 %. Así también, la densidad de los servicios administrativos (DenAdPublic_Km2) conservó correlación positiva, por lo tanto, a medida que incremente dentro de un Km2 se esperaría que el número de abordajes incremente un 0,01%. Finalmente, la distancia al centro de negocios (Dist_CentroQuitoKm) y el destino dentro de los 400 m (Destino_400metros) mantuvieron una correspondencia negativa, lo que se interpreta como una relación inversa, pues a medida que disminuya un kilómetro de distancia hacia el centro de negocio se esperaría un incremento de 0,038% en el número de pasajeros. Mientras que, a medida que disminuya el número de destinos dentro de los 400 metros, el número de entradas se incrementaría un 0,003%. Esto significa que, si la distribución de los destinos es equitativa dentro de un umbral de 400 metros, podrían aumentar los ingresos a pie.

En la tabla 30 se describe el resumen del modelo logarítmico de la demanda. El R cuadrado ajustado es de 0,677 el cual explica la demanda en función de los dominios diversidad, diseño

y accesibilidad local (distancia de los destinos dentro de los 400 m). El valor estadístico de Durbin Watson es de 2,15, el cual se localiza en el intervalo [1,5-2,5], lo que significa que hay independencia en los residuos.

Tabla 30. Resultados del modelo de demanda del BRT de Quito

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
0,846	0,716	0,677	0,176	2,159

Fuente: Elaborada por la autora a partir del INEC (2010), de la EPMTQP (2012), rastreo (2018) y PEDS_Quito (2018)

Según el análisis de la varianza (Anova) que se aprecia en la tabla 31, la relación entre el número de ingresos del BRT y las variables que representan el diseño son estadísticamente significativos, debido a los resultados de $F= 18,151$ y a la significancia de 0,000.

Tabla 31. Técnica de análisis de varianza (Anova)

Modelo	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	2,805	5	0,561	18,151	0,000
Residuo	1,113	36	0,031		
Total	3,918	41			

Fuente: Elaborada por la autora a partir del INEC (2010), de la EPMTQP (2012), rastreo (2018) y PEDS_Quito (2018)

6.3.2. Análisis de tipologías de estaciones del sistema BRT

Los resultados sobre la asociación de las características DOT y el número de usuarios BRT se describen en dos partes: en el análisis factorial exploratorio que se empleó para identificar los dominios DOT en las estaciones BRT, y en el análisis de conglomerados para identificar las tipologías de estaciones orientadas al uso del BRT de Quito. La técnica exploratoria de factores permitió identificar la estructura subyacente del conjunto de variables del entorno urbano para reducirlos a un número mínimo de dimensiones con características comunes mediante el análisis de covarianza (Kim y Mueller, 1978). Por otro lado, el análisis de conglomerados a partir de las puntuaciones factoriales que incluyó paradas por agrupaciones en las cuales la varianza de los datos se minimizó dentro del grupo y se maximizó entre los otros grupos (Blalock et al., 1966), –un proceso similar al análisis factorial– para lograr una heterogeneidad entre los grupos (Everitt et al., 2011).

Respecto al tamaño, la muestra se consideró aceptable debido a que cumplió dos criterios. Primero, el número de sujetos duplicaron el número de variables explicativas (Kline, 2014), y, segundo, la estructura factorial se conformó con un mínimo número de variables (3) que corresponden a un único factor (Costello y Osborne, 2005).

Para el análisis factorial se emplearon 13 del total de las variables calculadas. Su definición y análisis descriptivo se encuentran en los apartados 5.3 y 5.4, las mismas que se construyeron a partir de los datos de los seguimientos a los itinerarios peatonales aplicados en septiembre del 2018, datos del INEC (2010), y de las fichas PEDS (2018). Las selecciones de estas responden a la fundamentación teórica, a los coeficientes de correlación y a la aplicación de la técnica de Barlett. Los resultados de ambas pruebas estadísticas mostraron que las variables no se correlacionan, lo que significa que es aceptable la muestra para el análisis factorial.

En la tabla 32 se pueden observar los coeficientes de correlación para las variables con valores más altos, donde el índice de servicio está altamente correlacionado con el índice de mezcla (0,82). Es posible afirmar que existe una relación inversa entre *Dist_CentroQuitoKm* e *ÍndiceMezcla* (-0,55) y una relación inversa entre *Ind_Serv_ha* y *Dist_CentroQuitoKm* (-0,54). Además, se da una relación directa entre las variables *Ind_MixVertical_ha* y *Den_Red_Km2* (0,55), una relación directa entre *ÍndiceMezcla* e *Ind_Serv_ha* (0,82) y una relación inversa entre las variables *Dist_CentroQuitoKm* y *Dentotal_Parq_ha* (-0,63).

Tabla 32. Las variables con los valores más altos de los coeficientes de correlación

Variable	KMO
ÍndiceMezcla	0,82
Indice_Facilidades_Peatonales	0,55
Dist_CentroQuitoKm	0,81
Den_Edu_Ha	0,75
Den_Com_ha	0,89
Den_Red_Km2	0,73
Ind_MixVertical_ha	0,63
Den_Resi_Km2	0,59
Ind_Serv_ha	0,82
Den_SegVial_Ha	0,79
Dentotal_Parq_ha	0,71
Ind_NoMoto_ha	0,61
DenAdPublic_ha	0,74

Fuente: Elaborada por la autora a partir del INEC (2010), de la EPMT PQ (2012), rastreo (2018) y PEDS_Quito (2018)

Adicionalmente, se aplicó otra prueba de Kaise-Meyer-Olkin (KMO) que muestra qué tan adecuados son los datos para el análisis factorial. El resultado del test es de 0,74, lo que significa que el conjunto de las 13 variables es válido debido a que se encuentra en el rango comprendido entre el 0,8 y el 0,7, que corresponde a la categoría aceptable. Sobre el número de factores, el Screenshot Plot (Cattell, 1966) sugiere tres o cuatro factores, de estas dos alternativas la mejor estructura corresponde a la de tres factores, los cuales explican el 65 % de la varianza de las 13 variables estudiadas. El coeficiente de Alpha Cronbach del conjunto de factores registró 0,65, por lo que se considera aceptable. En la figura 28 se aprecia la representación gráfica del número de factores.

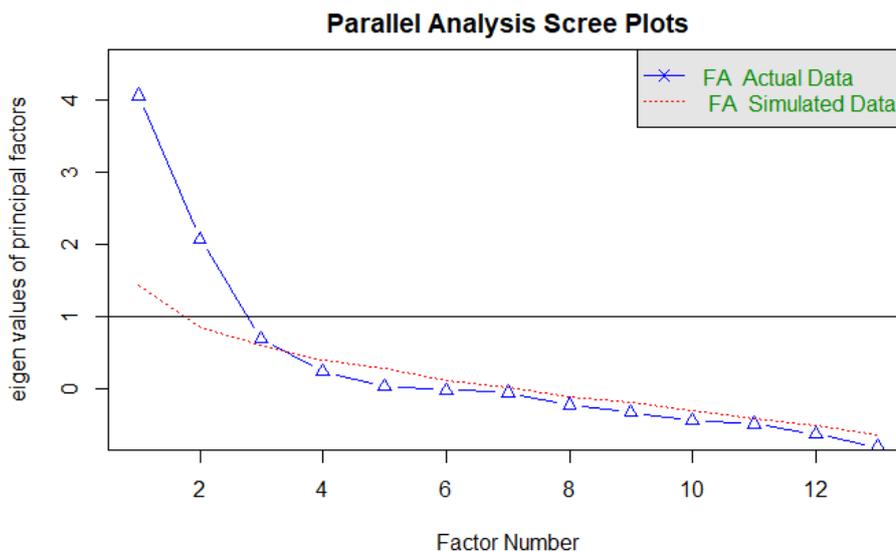


Figura 28. Representación gráfica del número óptimo de factores

Fuente: Elaborada por la autora a partir del INEC (2010), de la EPMTQP (2012), rastreo (2018) y PEDS_Quito (2018)

Los resultados de la matriz de factores rotados muestran la localización de las variables en cada factor. Así, el factor 1 se define como la zona de mezcla de usos de suelo, como resultado de la presencia del índice de la mezcla de usos del suelo (0,82), índice de servicio (0,82) y densidad de la administración pública (0,78); los cuales se encuentran asociados de forma positiva. Este factor entorno 1 se caracteriza por un desarrollo mixto, sobre todo por la presencia de servicios administrativos públicos, pero con ausencia de viviendas.

El factor 2 se define como alta densidad de usos residenciales, educación y comercio; como resultado de las variables densidad de red peatonal (0,79), índice de mezcla vertical que incluye vivienda y comercio (0,73); la densidad residencia que integra residencia unifamiliar y multifamiliar (0,86); el índice no motorizado que incluye senderos peatonales y recreación (0,53); y, poca presencia de la densidad de educación (0,43). El factor se concentra con asociación de forma positiva.

El factor 3 se define como la zona comercial con facilidades para diferentes modos de desplazamiento, como resultado de las variables índice de facilidades peatonales (0,53), densidad de comercio (0,63), distancia al centro de negocios de Quito (-0,56), densidad de seguridad vial (0,62) y densidad parqueadero formal e informal (0,61). Las variables se asociaron de forma positiva excepto la distancia al centro de negocios. En la tabla 33 se

aprecian los valores de los factores rotados de cada variable y en la figura 29 se muestra su representación gráfica en un diagrama de árbol.

Tabla 33. Matriz de factores rotados

Variables	Factor 1	Factor 2	Factor 3
ÍndiceMezcla	0,8	0,08	0,29
Indice_Facilidades_Peatonales	0,04	0	0,53
Dist_CentroQuitoKm	-0,47	0,3	-0,56
Den_Edu_Ha	0,23	0,43	-0,19
Den_Com_ha	0,44	0,08	0,63
Den_Red_Km2	0,1	0,79	0,03
Ind_MixVertical_ha	0,1	0,73	0,2
Den_Resi_Km2	-0,4	0,86	-0,06
Ind_Serv_ha	0,82	0,18	0,39
Den_SegVial_Ha	0,58	0,28	0,62
Dentotal_Parq_ha	0,19	-0,14	0,61
Ind_NoMoto_ha	0,1	0,53	-0,37
DenAdPublic_ha	0,78	0	0,02
SS loadings	2,93	2,58	2,2
Proportion Var	0,23	0,25	0,17
Cumulative Var	0,23	0,48	0,65
Proportion Explained	0,38	0,34	0,28
Cumulative Proportion	0,38	0,72	1

Fuente: Elaborada por la autora a partir del INEC (2010), de la EPMT PQ (2012), rastreo (2018) y PEDS_Quito (2018)

Factor Analysis

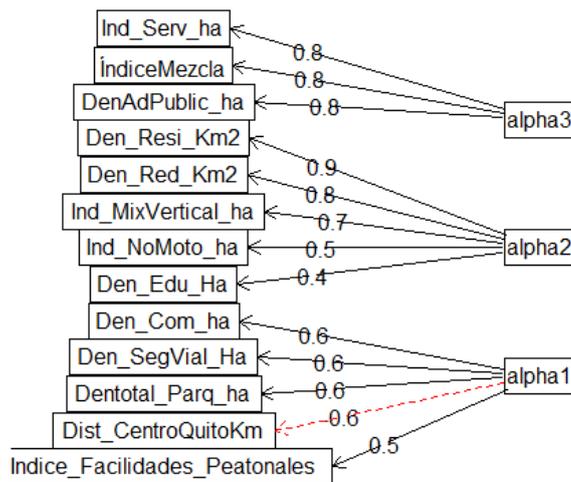


Figura 29. Diagrama de árbol de los factores

Fuente: Elaborada por la autora a partir del INEC (2010), de la EPMTQP (2012), rastreo (2018) y PEDS_Quito (2018)

Para el análisis de conglomerados se emplearon los tres factores del entorno y la densidad de la población residente que no se incluyó en el análisis factorial. Con estos valores se realizaron análisis con algunos métodos conglomerados, entre los que se destacan vecino más lejano o enlace completo, y el de Ward o varianza mínima. El método de enlace completo sugirió ocho grupos según el coeficiente de silueta. En el método de Ward, con distancia euclidiana al cuadrado, se propusieron tres clústeres que establecieron los resultados teóricos el Screenshot Plot entre 3 y 4 y el dendograma 3 clústeres a una distancia menor a 10. Después de comparar los resultados de ambos análisis multivariantes se decidió utilizar el método de Ward, con la distancia euclidiana cuadrada, debido a que los resultados mostraron mayor precisión en los cálculos de relaciones y, además, se ajustaron a las características de homogeneidad de las estaciones. Los valores medios de los factores y las variables por clúster se muestran en la tabla 34. Mientras que, la distribución de las paradas del sistema tipo BRT en los clústeres se representa en la figura 30.

Tabla 34. Promedio de factores y variables en cada uno de los clústeres (tipologías)

Factores y Variables	Tipología 1: zona media (vivienda, comercio) a 400 m de la estación y con ciertas facilidades peatonales	Tipología 2: zona con alta mezcla de usos (comercio, entidades públicas y servicios) a 400 m de la estación y espacios amigables para los peatones	Tipología 3: zona con alta: presencia de uso residencial con comercio barrial y educación a 600 m y espacios poco amigables para los peatones
Cuenta de Parada	12,00	26,00	4,00
Factor 1	-0,48	0,41	-1,23
Factor 2	-0,68	0,01	1,95
Factor 3	-0,82	0,51	-0,84
ÍndiceMezcla	52,98	72,25	42,86
Ind_Serv_ha	0,19	0,75	0,07
DenAdPublic_ha	0,12	0,23	0,02
Den_Edu_Ha	0,24	0,29	0,43
Den_Red_ha	0,18	0,21	0,28
Ind_MixVertical_ha	1,12	1,67	2,38
Den_Resi_ha	2,63	2,92	6,67
Ind_NoMoto_ha	0,61	0,61	2,71
Indice_Facilidades_Peatonales	56,48	70,09	55,56
Den_Com_ha	0,36	1,00	0,42
Den_SegVial_Ha	1,06	2,73	1,02
Dentotal_Parq_ha	0,27	0,80	0,22
Ind_NoMoto_ha	0,61	0,61	2,71
Dist_CentroQuitoKm	8,64	2,92	11,44
Den_Ccomercial_ha	0,00	0,07	0,06
Destino_200m	27,06	27,85	24,18
Destino_300m	29,74	30,07	41,20
Destino_400m	58,07	61,01	68,95
Destino_500m	10,60	12,56	17,96
Destino_600m	28,23	25,44	37,15
Log. Pasajeros 2012	2,676	5,445	1,709
DenPo_Ha	217,59	117,05	514,58

Fuente: Elaborada por la autora a partir del INEC (2010), de la EPMTPQ (2012), rastreo (2018) y PEDS_Quito (2018)

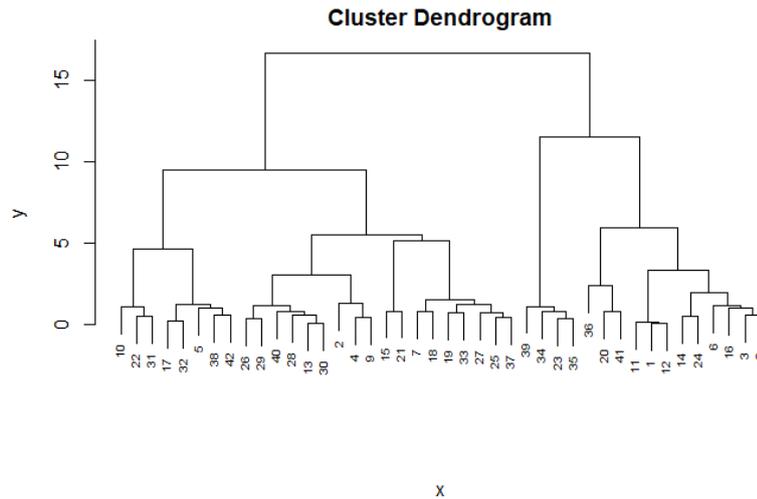


Figura 30. Dendrograma de clúster de las paradas

Fuente: Elaborada por la autora a partir del INEC (2010), de la EPMTQP (2012), rastreo (2018) y PEDS_Quito (2018)

El primer grupo incluyen 12 estaciones: Ajaví, Bellavista, El Calzado, Chimbacalle, La Colina, Condorñán, Cumandá, Eugenio Espejo, La Internacional, La Recoleta y Santo Domingo, las cuales se caracterizan por tener presencia de comercios, viviendas y un bajo índice de mezcla de usos de suelo con ciertas facilidades peatonales y con estacionamientos. Además, las estaciones se encuentran en la zona intermedia pues los destinos se localizan entre los 400 y 500 m. En la figura 31 se observan los promedios de los factores, el número de pasajeros y la población, lo que demuestra que la densidad de la población residencial no es un dominio predominante al momento de potencializar el transporte público en ciudades en desarrollo como Quito.

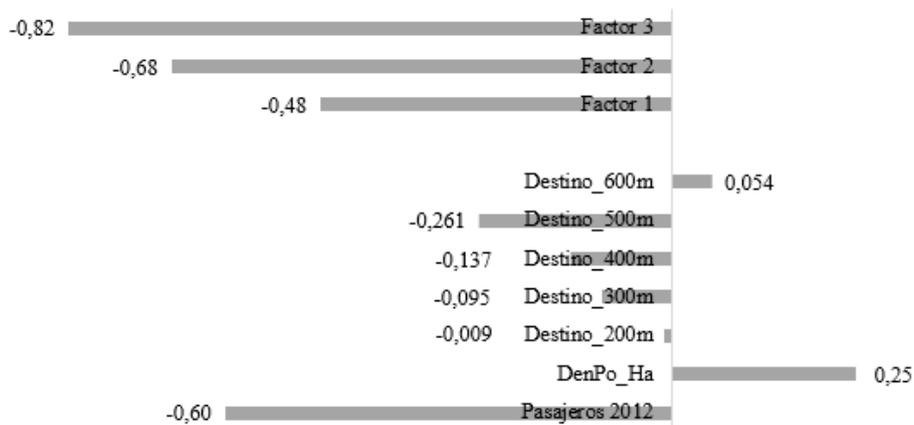


Figura 31. Distribución de los factores y destinos de clúster 1

Fuente: Elaborada por la autora a partir del INEC (2010), de la EPMTQP (2012), rastreo (2018) y PEDS_Quito (2018)

El segundo grupo está integrado por 26 estaciones: Colegio 24 de Mayo, Baca Ortiz, Banco Central, Benalcázar, Manuela Cañizares, Casa de la Cultura, Colón, Cuero y Caicedo, El Ejido, Eloy Alfaro, Estadio, Florón, Galo Plaza, Jipijapa, La Y, San Martín, Orellana, La Paz, Plaza Chica, Plaza del Teatro, Saucos, Simón Bolívar, Santa Clara y Villaflores; que se caracterizan por una alta mezcla de usos de suelo: entidades públicas, equipamientos y, sobre todo, comercios. Además, estas estaciones poseen facilidades peatonales, facilidades para el transporte motorizado y presentan mobiliario para control de la seguridad vial, pero no cuentan con un uso residencial. La mayoría de las estaciones se encuentran dentro de la centralidad o en su zona próxima. En la figura 32 se muestra que a nivel porcentual los usos que poseen las estaciones son favorables para la demanda del BRT.

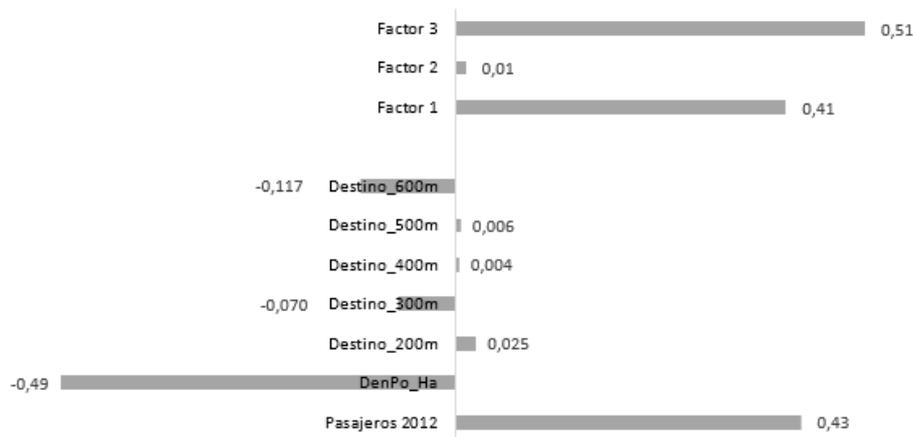


Figura 32. Distribución porcentual de los factores, destinos, densidad residente y número de pasajeros del clúster 2

Fuente: Elaborada por la autora a partir del INEC (2010), de la EPMTQP (2012), rastreo (2018) y PEDS_Quito (2018)

El tercer grupo está integrado por las estaciones Integración España, Quimiag, Quito Sur y Solanda, se caracteriza por la presencia de uso residencial, de centros de educación, mezcla vertical –que incluye residencia y comercio barrial–, parques y una alta densidad peatonal. Por el predominio de la vivienda los destinos se distribuyen desde los 300 m hasta los 600 m y un número menor dentro del umbral de 200 m donde se localiza el comercio. La densidad de la población mantiene el mismo comportamiento que en los demás clústeres, es decir, la presencia de residencias parece que no es suficiente para relacionarla con el número de pasajeros, tal como se muestra en la figura 33.

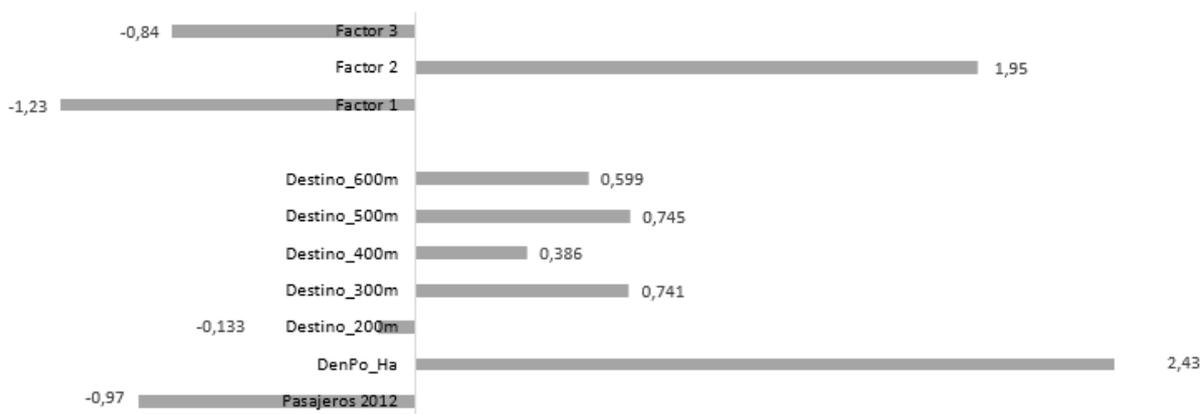


Figura 33. Distribución porcentual de los factores, destinos, densidad residente y número de pasajeros del clúster 3

Fuente: Elaborada por la autora a partir del INEC (2010), de la EPMTQP (2012), rastreo (2018) y PEDS_Quito (2018)

6.3.3. Análisis de características DOT en tipologías y abordajes BRT en ciudades en desarrollo, como Quito

En este apartado se aprueba la asociación entre el número de pasajeros y los tres factores. En la tabla 35 se muestran los análisis descriptivos de los factores, la distancia del destino a 400 metros, la distancia al centro de negocios de la ciudad, la densidad de la población y el número de usuarios; estos dos últimos en sus formas logarítmicas.

Tabla 35. Análisis descriptivo de los factores, densidad de la población, distancia al centro de negocio y el destino a 400 m

Variables	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Ln_Usua2012	2,803	3,961	3,544	0,309
LnDenPo_Ha	1,375	2,815	2,172	0,283

Alta mezcla de usos de suelo (Factor 1)

Alta densidad de uso residenciales, educación, comercio, alta densidad red peatonal (Factor 2)

Uso comercio, facilidades para diferentes modos de desplazamiento, distancia al centro de negocios (Factor 3)

Nota: N=42.

Fuente: Elaborada por la autora a partir del INEC (2010), de la EPMTQP (2012), rastreo (2018) y PEDS_Quito (2018)

Los coeficientes del modelo de regresión logarítmica lineal se interpretan considerando puntuación cero al resto de variables. Así, el número de abordajes esperados es de 2 pasajeros aproximadamente con p-valor= 0,000. El factor 1 registró significancia positiva con el número de pasajeros BRT (coeficiente 0,38, p-valor= 0,000), así como también el factor 3 (coeficiente 0,142, p-valor= 0,001). Estos resultados sugieren un nuevo modelo de ciudad en el cual los equipamientos y servicios se distribuyan en varias centralidades que se caractericen por contar con mezcla de usos de suelo, sobre todo, con presencia de comercios y de entidades públicas, y que además el espacio público disponga de facilidades peatonales para otros modos de desplazamiento (por ejemplo, estacionamientos, seguridad vial, etc.).

Esta nueva configuración espacial supondría un incremento de abordajes en el sistema BRT. Además, no solo es necesaria la presencia de usos y servicios, es indispensable también incluir la vivienda. Al respecto la densidad residencial de la población mostró una relación positiva con el número de pasajeros (coeficiente 0,519, p-valor= 0,017) cuando se incluye el factor 2. Esto permite interpretar que la densidad de la población en un modelo en el que el mayor porcentaje de uso residencial se concentra en los extremos de la ciudad no es una variable predictora por sí sola, necesita la interacción del resto de características del entorno para adquirir significancia. En la tabla 36 se presentan los coeficientes de las variables del modelo de regresión logarítmica lineal.

Tabla 36. Coeficientes de las variables que influyen en el modelo de regresión logarítmica lineal: cantidad de pasajeros, densidad de población, factores 1, 2 y 3

Variable	Coefficiente no estandarizado B	Error estándar	t	Significancia
(Constante)	2,249	0,521	4,321	0,000***
Factor 1	0,380	0,065	5,826	0,000***
Factor 3	0,142	0,037	3,806	0,001**
LnDenPo_Ha_	0,596	0,239	2,490	0,017*
Factor 2	-0,062	0,034	-1,824	0,076

Nota: N= 42.

Variable dependiente Ln_Us2012. * p <0,05, ** p <0,01, *** p <0,001

R cuadrado 0,689, R cuadrado ajustado 0,655, F 20,44

Fuente: Elaborada por la autora a partir del INEC (2010), de la EPMTQP (2012), rastreo (2018) y PEDS_Quito (2018)

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

7.1. Limitaciones y aciertos de los hallazgos previos sobre la relación entre las variables urbanísticas y los modos de transporte, el tipo BRT y el viaje a pie (OE1)

La sección de revisión de la literatura proporciona una descripción más detallada de los hallazgos de investigaciones anteriores. No obstante, en este apartado, se presentan de manera general los aspectos que sirvieron como base para este estudio.

El primero criterio, Cervero y Kockelman (1997) proponen que las características del entorno urbano ejercen influencia sobre el comportamiento de los desplazamientos, especialmente en aquellas zonas con influencia del desarrollo orientado al transporte (DOT). En este contexto, los modelos matemáticos de demanda propuestos coinciden en que existe relación con la densidad, la diversidad, el diseño, la accesibilidad y los nodos intermodales. Sin embargo, los resultados varían en el nivel de significancia y en el signo del coeficiente. Por lo tanto, la mayoría de estos estudios se consideran correlacionales, en lugar de causales, lo que limita la aplicabilidad de sus hallazgos en políticas de planificación urbana, especialmente en aquellas áreas donde prevalece un modelo de ciudad disperso.

Respecto a este planteamiento, se confirma que el número de accesos al sistema BRT y la distancia a pie mantienen relación con la morfología urbana. Los niveles de significancia y el signo de los coeficientes de algunas variables son los que difieren de los hallazgos previos. En términos generales, las variables urbanísticas que corresponden a los dominios diversidad y accesibilidad son similares a los hallazgos previos acerca la demanda del transporte público y los desplazamientos a pie. Mientras que, la densidad y algunas de las características del diseño se asemejan únicamente a los resultados de estudios realizados en un contexto latinoamericano (Vergel-Tovar y Rodríguez, 2014).

Aunque el modelo de estimación directa (MRD) excluye las características del viaje privado y, además, emplea un reducido número de variables (Cervero, 2006), el MRD es una herramienta apropiada para calcular la demanda del transporte en función de las características morfológicas del entorno (Cervero et al., 2009; Cervero et al., 2010), particularmente cuando el número de accesos a la estación se realiza en modos de desplazamientos que permitan el contacto con el entorno urbano, como la bicicleta y la caminata (Cardozo et al., 2010).

Los resultados de este estudio muestran que el modelo de estimación directa (MRD) es una alternativa adecuada para el cálculo de la demanda de las paradas, puesto que, los usuarios ingresan a ellas caminando y es, precisamente, allí donde el entorno urbano adquiere un papel

importante en la elección del transporte. En cambio, en las terminales la mayoría de las personas acceden a ellas a través de los buses convencionales. Además, el número de ingresos en estos nodos son mayores a los que registran las paradas, por lo tanto, es necesario emplear una *dummy* en el modelo. Este artificio estadístico permite calibrarlo, sin embargo, los datos de las variables urbanísticas que no influyeron en la elección modal de los usuarios no se excluyen en su cálculo.

Adicionalmente, se reconoce que luego de la etapa de análisis de las variables urbanísticas, el cálculo del modelo es fácil y rápido con la aplicación de un software estadístico. Esto permite tener un escenario del comportamiento de la demanda en función del entorno urbano a nivel de estaciones que puede facilitar en la implementación de políticas de planteamiento urbanísticos de la ciudad de Quito.

Respecto a la delimitación del área de servicio, los estudios previos muestran que las variaciones no son significativas en el ajuste del modelo cuando se modifica el umbral de recorrido peatonal máximo o cuando se emplea la distancia a través de la red en lugar de la euclidiana (Guerra y Cervero, 2013). Por este motivo, la mayoría de estudios ha preferido utilizar un umbral de distancia peatonal máximo estándar y, además, ha calculado las isócronas utilizando la distancia euclidiana.

En este estudio, los hallazgos del indicador de la forma urbana (que es la relación entre el área de la isócrono calculada con la distancia real y la superficie del *buffer* obtenido con la distancia euclidiana) resultó significativo. Esto significa, por un lado, el tejido urbano tiene correlación la demanda del transporte y, por otro, la tipología de la forma del viario es diferente entre una estación y otra. En conclusión, la técnica de medición del umbral de distancia peatonal máxima a través del viario puede ser una estrategia acertada para calcular el área de servicio cuando la estructura de la red vial es irregular, como ocurre en la ciudad de Quito.

7.2. Caracterizar el entorno socioespacial de las estaciones del sistema BRT de Quito (OE2)

Los resultados indican que las características observables a nivel de calle pueden tener un impacto más significativo en la promoción de la caminata que las variables urbanísticas evaluada a macroescala (Arellana et al., 2020; Bivina et al., 2020). En consecuencia, en casos en los que la información a esta escala no esté disponible, la recopilación de los datos se convierte en un paso fundamental previo al análisis sobre las relaciones entre la variable dependiente, la demanda del transporte, y las variables urbanísticas.

En el marco de este estudio, se recabaron datos detallados de variables urbanísticas a microescala provenientes de 4417 segmentos del viario localizados dentro de las áreas de servicio (calculadas con el umbral máximo a pie de 600 metros) de 42 estaciones de dos corredores longitudinales del sistema BRT de Quito, específicamente, el Trole y la Ecovía. proporcionando detalles sobre el tiempo y la distancia a pie, el primer destino y el género del usuario. Finalmente, se obtuvieron los datos sobre el comportamiento del viaje y el perfil del usuario a través de 723 encuestas.

7.3. Umbral de distancia máxima a pie a las estaciones del sistema BRT de Quito (OE3)

Los resultados porcentuales de la distancia a pie hacia las estaciones del sistema BRT de Quito muestran que dentro del umbral de distancia a pie máximo de 600 metros se encuentra el 95,54 % de los itinerarios peatonales registrados en el rastreo, la cual está dentro del rango entre 400 a 800 metros definido por el DOT en urbes desarrolladas (Calthorpe, 1993). Pero, no coincide con el umbral de distancia de 250 a 500 metros empleado en los estudios de ciudades de América Latina (Estupiñán y Rodríguez, 2008; Vergel-Tovar y Rodríguez, 2018). Si se emplea la distancia de 250 metros propuestas por los estudios previos realizados en ciudades de América Latina, se cubriría menos del 30% de la demanda del sistema de BRT de Quito.

7.4. Comportamiento de los usuarios del sistema BRT y características del viaje (objetivo4)

Al examinar las características del perfil demográfico de los usuarios en otras ciudades en desarrollo, los resultados muestran una diferencia y dos similitudes con las características de los usuarios del sistema BRT de Quito. La diferencia fue el género de mayor presencia, en Colombo (Sri Lanka), hubo más hombres entre los 30 y 40 años con el 35 % (Sivakumar et al., 2006); y lo mismo ocurrió en el BRT de Beijing (China), donde la presencia masculina alcanzó el 55,1 %, y en el rango entre 18 y 34 años ascendió al 66,5 % (Deng y Nelson, 2012). En cambio, presentó similitud la presencia minoritaria del grupo de más de 60 años, el 5 % en Colombo, el 0,6 % en Beijing –los autores suponen que los adultos mayores son casi dependientes en países en desarrollo y por eso su participación es menor– y el 3,46 % en el BRT de Quito. Los usuarios del BRT de Beijing también mostraron semejanza con los usuarios del BRT de Quito con respecto al nivel de educación: la mayoría de los usuarios (48 %) alcanzó estudios universitarios (Deng y Nelson, 2012), y, en Quito, el mayor número de encuestados también sostiene que cursó estudios universitarios.

En relación con el comportamiento del viaje, el 49,46 % de los usuarios del sistema tipo BRT de Quito utilizan el servicio por trabajo u otras gestiones., Se suman estos motivos debido a que esta última actividad la realizaron por una remuneración. Este resultado es similar al registrado en el sistema BRT del eje sur de Pekín, China, donde el 61,8 % de los encuestados utilizó el transporte para ir al trabajo o para viajar por negocios (Deng y Nelson, 2012). Los datos porcentuales obtenidos de otras actividades como comprar, ejercitarse y entretenerse (10,51 %) muestran que el sistema tipo BRT en la ciudad de Quito brinda un servicio únicamente de traslado, pues a diferencia del BRT de Pekín, este sistema al parecer no se ha integrado a las actividades sociales locales.

7.5. Distancia a pie a las estaciones del sistema BRT de Quito

Los resultados del estudio permiten afirmar que los factores del entorno urbano, las características socioeconómicas, la accesibilidad regional (distancia entre la parada BRT de origen y la parada BRT del destino), la percepción del itinerario peatonal y la calidad del servicio de transporte resultaron determinantes en la distancia de acceso a las estaciones del sistema BRT de Quito. Por su parte, características del perfil del usuario como: la edad, el sexo, el nivel de educación, la diversidad de uso del suelo y algunas cualidades tanto del viaje como de la percepción del itinerario peatonal como continuidad, calles dinámicas, etc., no tienen relevancia en el modelo. Se trata de un resultado que difiere de otros estudios donde el género, la edad, el propósito del viaje, la hora del día, entre otras características, son significativas para explicar la distancias a pie (Zhao y Wan, 2020; He et al., 2018).

La densidad residencial se correlaciona positivamente con la distancia de acceso a pie a las estaciones. Esto puede ser por la localización del uso residencial, pues su presencia es reducida dentro de los 400 metros. Además, su mayor concentración se identifica en un mayor umbral de distancia. Por lo tanto, las personas caminan más desde sus hogares para acceder a las estaciones del sistema BRT de Quito. Este hallazgo respalda investigaciones anteriores como la de Zhao y Wan (2020), quienes encontraron que el tiempo de caminata hacia las estaciones de buses es más largo en una zona con mayor densidad de población. En este caso particular, la variable densidad alta edificatoria no resultó significativa, por lo cual, no fue posible confirmar resultados de estudios previos de caminabilidad que sugieren que la intensidad de los edificios puede dañar el paisaje urbano y, por consecuencia, reducir la marcha a pie (Bivina et al., 2020).

El índice de rodeo y la accesibilidad regional (distancia de recorrido en los buses BRT a través de corredores exclusivos entre la parada de origen y la del destino) también se relacionan positivamente con la distancia de acceso a pie a la estación. Por un lado, a medida que incrementa el índice de rodeo, es decir, la relación entre la distancia a pie medida a través de la red y la distancia euclidiana, la accesibilidad mejora y, en consecuencia, las personas tienen mayor predisposición a caminar más. Por otro lado, a mayor cobertura del servicio mayor distancia recorrida a pie: en efecto, a medida que los corredores exclusivos llegan a las zonas de la periferia de la ciudad, los usuarios caminan más a las estaciones del transporte tipo BRT, confirmando así hallazgos previos que sugieren que existe una menor sensibilidad a la distancia a pie a medida que mejora el servicio de transporte público (Chan y Miranda-Moreno, 2013; Jiang et al., 2012).

Por el contrario, los factores socioeconómicos, la densidad del estrato medio alto, estrato alto, la densidad de la población no residente y la ruta más corta, mantienen una relación inversa con la distancia a pie de acceso a las estaciones del sistema BRT. No es de sorprender que el estrato social medio alto y el estrato alto tuvieran un impacto negativo con la distancia de acceso a pie en una ciudad como Quito, donde según el análisis socioeconómico del INEC (2011), las personas que pertenecen a este nivel económico poseen vehículo, por lo cual seleccionan modos de transporte motorizado en lugar de la caminata o el transporte público. Este hallazgo fue consistente con las conclusiones de otros estudios (Cervero et al., 2009; He et al., 2018; Jiang et al., 2012).

La asociación entre la población no residente y la distancia de acceso a pie mantiene el valor negativo debido a que esta se distribuye en el área con mayor accesibilidad a servicios y a equipamientos, de modo que la distancia recorrida a las estaciones del BRT es menor. Asimismo, la ruta más corta se asocia de forma inversa con la distancia a pie, lógicamente esto ocurre porque en la actualidad los usuarios para seleccionar el itinerario no solo lo hacen con base en el conocimiento del contexto o en la intuición, sino que emplean dispositivos digitales. Por lo tanto, a medida que incrementa esta variable la distancia es menor, reafirmando así los hallazgos de otras investigaciones que encontraron que la ruta más corta es un factor importante en el acceso a pie a las estaciones del transporte público (Sarker et al., 2019; Weinstein et al., 2008).

Otros factores como la seguridad contra la delincuencia, las características del comportamiento del viaje y de los usuarios no adquirieron nivel de significancia en el modelo propuesto. A pesar de que la seguridad no tiene peso explicativo como en los análisis de caminabilidad

(Bivina et al., 2020; Monteiro y Campos, 2012), merece la pena indicar que esta variable registró el 30 % de frecuencia relativa, lo que demuestra que es un elemento a considerar al momento de seleccionar una ruta.

Los hallazgos obtenidos en el modelo de regresión fueron respaldados por el análisis multinivel, lo que confirma la existencia de una relación entre la distancia recorrida hacia la estación tanto el entorno urbano como las características del viaje del usuario. Los resultados revelaron que las variables urbanas, como el índice de rodeo, el paso cebra, el número total de usos del suelo junto con las características del viaje de los usuarios expresadas en días que utiliza el sistema BRT y la distancia al destino desempeñan un papel significativo en la explicación del comportamiento de la variable dependiente.

El índice de rodeo, la presencia de paso cebra y la distancia al destino se relacionan de manera positiva con la distancia a pie hacia las estaciones. Los usuarios están dispuestos a caminar distancias más largas cuando el lugar de destino es más distante (Chan & Miranda-Moreno, 2013; Jiang et al., 2012); cuando el contexto urbano es accesible, afirmando, así, la correlación entre esta variable y el número de peatones propuesto por Rodríguez, Brisson, & Estupiñán, (2009). Asimismo, la distancia a pie se relaciona con la señalización del viario adecuada (Jiang et al., 2012). Finalmente, se observa que las personas tienden a recorrer mayores distancias en zonas con características monofuncionales. Según los datos porcentuales de los destinos registrados en el rastreo, esto se debe a que la residencia mayormente se encuentra fuera del umbral máximo peatonal de 400 metros. Por otro lado, se evidencia que la distancia a pie hacia las estaciones disminuye a medida que aumenta el número de días en los que los usuarios utilizan el BRT.

En términos generales, estos aportes muestran que las características del contexto urbano y las cualidades del viaje pueden influir sobre la distancia de acceso a pie a las estaciones estudiadas del transporte público tipo BRT de Quito, confirmando, así, algunos hallazgos previos.

7.6. Modelo de demanda de estimación directa de 42 estaciones del sistema BRT de Quito

Los resultados muestran que la distancia al centro administrativo de la ciudad (CBD), la densidad de la acera con ancho entre 3 y 4 metros y la densidad de la red son variables que predicen la demanda de los ingresos a pie a las 42 estaciones del sistema BRT de Quito, mientras que la variable logarítmica densidad de la población se encuentra fuera del límite de significancia. Con las variables citadas el ajuste del modelo logra un coeficiente de

determinación R^2 de 0,6, lo que confirma que los dominios urbanos accesibilidad al destino y diseño ejercen influencia sobre la demanda del transporte tipo BRT de Quito.

El comportamiento de la densidad residencial puede considerarse imprevisto tomando como referencia los estudios de los países desarrollados realizados en espacios con o sin características DOT (Cervero, 2010; Cardozo et al., 2010). Inclusive cuando se analizan los datos en conjunto de siete ciudades latinoamericanas (Vergel-Tovar y Rodríguez, 2014) entre ellas Quito, que puede justificarse, por un lado, que en este estudio emplearon las terminales y estaciones de transferencia a pesar de que estos son considerados nodos intermodales en los cuales predominan las conexiones en bus tipo y, por otro, que en este grupo de ciudades se encuentra Curitiba, que se ajusta a los principios DOT.

Sin embargo, el resultado del nivel de significancia de la variable densidad podría considerarse el esperado si se compara con los resultados obtenidos en el estudio citado en el párrafo anterior cuando en lugar de analizar en conjunto lo hacen en cada ciudad, puesto que esta variable en Quito tampoco fue significativa. Adicionalmente, los resultados del análisis de frecuencia de las características del entorno inmediato a las estaciones muestran coherencia con el nivel de significancia de la densidad de la población, pues, según los datos del nivel de desarrollo (densidad de segmentos con mayor altura de edificación) y la densidad de la población según el censo del 2010, el área próxima a los corredores estudiados se caracteriza por su baja densidad.

La accesibilidad al destino (distancia medida desde la estación BRT hasta el centro de negocios) es un dominio que en todas las etapas de análisis adquirió significancia con signo negativo, es decir, al incrementar la distancia entre el destino (centro de negocio) y la parada, los usuarios estarían seguramente menos motivados a usar el sistema de transporte, lo que confirma lo sugerido en otros estudios (Cardozo et al., 2010; Chan y Miranda-Moreno, 2013; Kuby et al., 2004; Loo et al., 2010). Puede ser que los usuarios del sistema BRT de Quito correspondan al grupo denominado cautivo, que utiliza el transporte para desarrollar actividades obligatorias, como los viajes por trabajo.

La densidad de segmentos del viario que tienen una acera entre 3 y 4 metros y el número de pasajeros resulta coherente puesto que a medida que se aumentan las facilidades peatonales se promueven los desplazamientos a pie y consecuentemente al mejorar el acceso al transporte público tipo BRT incrementa su demanda. Asimismo, la densidad de equipamientos de uso

público administrativo se relaciona con el incremento de ingresos a pie a las estaciones, que confirma estudios previos de ciudades latinoamericanas (Vergel-Tovar y Rodríguez, 2018).

Un dominio poco estudiado en los modelos de demanda es el de accesibilidad local que, en este caso, corresponde a la distancia de los destinos a 400 metros, cuyo resultado muestra la importancia de la distribución equitativa de los usos del suelo dentro de un umbral de distancia a pie mayor que el propuesto en estudios previos (Vergel-Tovar y Rodríguez, 2014; Vergel-Tovar y Rodríguez, 2018; Estupiñán y Rodríguez, 2008; Rodríguez et al., 2009)

7.7. Tipologías de estaciones en el sistema tipo BRT de Quito

Para identificar las funciones DOT en el entorno urbano del BRT de Quito se establecieron tres factores con 13 variables, los cuales se utilizaron en el análisis de regresión logarítmica lineal. Los resultados sugieren una asociación entre el factor 1 (con alto índice de mezcla de usos de suelo), el factor 3 (con uso de comercio especializado, facilidades para otros modos de desplazamientos) y el número de pasajeros BRT. Ambos factores se relacionaron de forma positiva con los abordajes, mientras que el factor 2 (densidad de la población, densidad de educación, comercio barrial, densidad de la red) no resultó significativo.

Los hallazgos del análisis de las 42 estaciones BRT de Quito confirman que el entorno alrededor de las estaciones localizadas en la centralidad o en zonas cercanas tienen ciertas características DOT como la mezcla de usos de suelo y ciertas facilidades para otros modos de desplazamiento, sobre todo cuentan con mobiliario de seguridad vial para los peatones y servicio de estacionamientos, pero con poca ausencia del uso residencial. El uso de viviendas combinado con el comercio barrial y con la educación se localizan en las estaciones más alejadas al centro de negocios.

Para describir por grupos de estaciones estos hallazgos se empleó el análisis de clúster con los factores, esta investigación estableció tres grupos que representan diferentes tipos de entorno urbano. El grupo 1 el cual sugiere estaciones localizadas en una distancia media con uso de comercio especializado, seguridad vial peatonal y presencia de estacionamientos. El grupo 2 que sugiere estaciones localizadas en la centralidad o en zonas próximas con un alto nivel de mezcla de usos de suelo, sobre todo de entidades administrativas, hoteles, entidades financieras, etc. Y, finalmente el grupo 3 que sugiere las estaciones más alejadas del centro de negocios, con uso de vivienda, comercio barrial, educación, espacios recreativos y mayor densidad de senderos peatonales.

La tipología 3 además de mantener las características descritas anteriormente, se relacionan con el menor número de ingresos de pasajeros. Esto sugiere que los residentes de las zonas cercanas a estos nodos de conexión optan por otros modos de transporte cuando el destino se encuentra en el centro de negocio. Sin embargo, los datos de la encuesta revelan que, al regresar a los hogares ⁶, la mayor distancia promedio recorrida se realiza a través de los corredores exclusivos del sistema BRT. Por lo tanto, estos se convierten en puntos de atracción cuando el destino es la vivienda, tendencia que no ha sido validada debido a la falta de información sobre el número de salidas de cada estación.

En términos generales, dos de las tipologías descritas anteriormente mantienen características DOT, y una no se ajusta a este criterio. Estos hallazgos son similares a los encontrados por Vergel-Tovar y Rodríguez (2013).

⁶ Según la encuesta las personas recorren más de 4500 metros en los buses del sistema BRT, a través de los carriles exclusivos, para llegar a su parada de destino. La mayor distancia promedio (5385,42 m) registró el motivo regresar a la casa, seguida del motivo trabajo con una distancia promedio de 4861 metros.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

El posicionamiento del BRT en los últimos años ha permitido concebirlo no solo con un enfoque de la movilidad, sino como una **gran oportunidad para reestructurar el crecimiento urbano, especialmente en ciudades de rápida expansión. Por ello, comprender la naturaleza de la relación que mantiene el entorno urbano con el sistema de transporte tipo BRT y con otros modos más sostenibles, como la caminata, puede concienciar a los técnicos responsables sobre importancia de integrar los criterios de movilidad y planeamiento urbano en políticas públicas orientadas a desplazamientos más sostenibles.**

En este contexto urbano los resultados obtenidos confirman la utilidad de esta metodología en ciudades en desarrollo, como es el caso de Quito, por tres razones principales: 1) el modelo integra las características del entorno urbano, lo cual facilita la recopilación de la data y, además, con estas variables urbanísticas, el modelo alcanza un alto poder predictivo. 2) La mayoría de los ingresos a las estaciones se realizan a pie. Este criterio es importante debido a que la demanda se calcula en función de las variables urbanísticas, por lo tanto, la interacción entre el contexto y el peatón adquiere relevancia. Por ello, en este estudio, no se consideran las terminales y estaciones de transferencia. 3) Integra modos de desplazamiento más sostenibles, como los desplazamientos a pie, la bicicleta (Cardozo et al., 2010; Cervero, 2006). A pesar de estas bondades, el MRD tiene limitaciones importantes en su proceso: por un lado, no incluye variables que representen características de viaje en vehículo privado (por ejemplo, coste de viaje, tiempo de viaje, etc.); por otro, la cantidad de variables posibles que pueden incluirse en el modelo es restringida debido a que se analiza a nivel de estación, lo cual disminuye el número de individuos en la muestra, reduciéndolo a un análisis de causalidad.

Por otro lado, los pasos del cálculo de la demanda se han considerado poco relevantes en los estudios anteriores. No obstante, este estudio aporta con un análisis porcentual de la distancia recorrida desde la parada del BRT hacia los primeros destinos, obtenida mediante rastreos. Esto sugiere la necesidad de utilizar una distancia máxima a pie de 600 metros en lugar de los 250 metros propuestos por investigaciones previas, ya que esta última distancia abarca apenas el 30% del propósito de viaje en este contexto.

Ahora bien, ya centrándonos en el tema de la relación entre el entorno urbano y la distancia a pie, y el contexto y el número de pasajeros, son numerosas las publicaciones en las que se reconoce la necesidad de integrar las características urbanísticas y las cualidades de los

usuarios. En este sentido, abordamos, en primer lugar, el perfil del usuario y las características de su viaje, puesto que estos datos proporcionan variables que permiten mejorar el transporte más sostenible en función del entorno urbano. A pesar de que estas variables cualitativas no resultaron significativas en todos los modelos aplicados por varias razones, entre ellas la forma de medición y el método de análisis, cabe indicar que los hallazgos encontrados sugieren la importancia de la proximidad entre las actividades, pues en el motivo de viaje predomina el trabajo. O sea, actualmente el sistema parece proporcionar únicamente un servicio de traslado hacia el centro de negocios de la ciudad, donde se concentran la mayoría de equipamientos y servicios.

En el caso de la relación entre el entorno urbano y los desplazamientos a pie en las zonas próximas a las estaciones de los sistemas de transporte, los modelos previos confirman que existe asociación entre ellos. Lo mismo sucede con el contexto y la distancia a pie a las estaciones del sistema BRT de Quito, pero con sus características específicas. A pesar de que no todos estos hallazgos se ajustan a ciertas lógicas encontradas en estudios previos, ellos adquieren la dialéctica propia de una ciudad que, prácticamente se emplaza de forma lineal en medio de dos cordilleras. Además, la urbe quiteña está sometida a un modelo de planificación que se basa en principios funcionalistas del movimiento moderno, donde la mayor presencia del uso residencial se encuentra en la zona periférica, mientras que los equipamientos y servicios se localizan en las zonas centrales.

Considerando este contexto se interpretan las variables que intervienen en el modelo de distancia a pie a las paradas del sistema BRT. Las características socioeconómicas, la densidad de la población no residente, logaritmo de la densidad de la población y la distancia hacia la parada de destino recorrida a través de los corredores tienen mayor significancia al momento de explicar la distancia a pie a las paradas. Esto plantea dos escenarios, por un lado, sugiere poner énfasis en la distribución equitativa de los estratos sociales y en el uso residencial dentro del área de servicio de las estaciones, mediante la implementación de políticas orientadas a planes de vivienda para grupos sociales con menor poder adquisitivo que favorezcan la inserción de la variable mezcla de estratos sociales dentro del dominio diversidad. Por otro, potencializar el transporte tipo BRT mediante la ampliación y la gestión de los corredores exclusivos hacia los destinos con mayor interés, es decir, hacia la periferia donde se localiza la mayor parte de la población.

El nivel de significancia del índice de rodeo muestra que la morfología del viario puede ser un elemento que influya en los modos sostenibles como el viaje a pie y el transporte público. Por

lo tanto, es necesario concentrarse en mejorar las conexiones de las manzanas que por su tamaño son poco accesibles, sobre todo en aquellas que son equipamientos o servicios públicos. En el caso de Quito, la construcción de infraestructura básica del espacio público abierto orientado a mejorar las conexiones hacia las estaciones con implementación de señalética vial y la presencia de acera puede ser suficiente para apoyar el viaje a pie, incluso si el presupuesto no permite realizar mejoras estéticas a lo largo de las rutas peatonales. El entorno urbano, como se ha detallado en los párrafos anteriores, guarda una estrecha relación con la demanda del sistema BRT de Quito. La densidad de la acera que varía entre los 3 y 4 metros, y la densidad de la administración pública, correspondientes al dominio diseño y diversidad, respectivamente, muestran una correlación positiva con el número de pasajeros del BRT de Quito. En este análisis, estos factores se comportan de manera similar al modelo de desplazamiento a pie. Esto sugiere que, al recuperar la calle, como elemento de conexión segura e interacción, se puede fomentar la adopción de modos de desplazamientos más sostenibles, como caminar y el sistema de transporte BRT, en Quito, una ciudad denominada en desarrollo. Mientras que, el coeficiente negativo asociado a la variable distancia al centro de negocios indica que el número de ingresos a pie a las estaciones es menor en las zonas periféricas, a pesar de la presencia significativa de la población en dichas áreas. Esta observación se respalda al considerar exclusivamente los ingresos a las estaciones, y su interpretación se apoya en los datos derivados del estudio sobre la distancia a pie. En este contexto, se infiere que las personas eligen modos de transporte distintos al sistema BRT cuando viajan por motivos laborales. En cambio, cuando el destino residencial, muestran preferencia por los autobuses BRT que operan en carriles exclusivos. Tanto es así que están dispuestos a caminar distancias mayores hasta las paradas para acceder a este servicio.

Con los resultados aquí expuestos se profundizan y amplían los conocimientos previos. Desde una perspectiva de planeamiento urbano, se sugiere considerar, a partir de este estudio un modelo de ciudad con varias centralidades que disminuya la distancia del desplazamiento entre los lugares de origen y destino promoviendo proximidad temporal y espacial a través de espacios públicos orientados especialmente a los peatones. Además, se propone que la ciudad cuente con un sistema de transporte que opere en corredores exclusivos, los cuales conecten los asentamientos humanos localizados en los suburbios con los equipamientos y servicios de escala zonal, sectorial y metropolitana.

En el ámbito del transporte, se propone incorporar las variables urbanísticas en el cálculo de la demanda de las estaciones que registran el mayor número de accesos a pie, sobre todo la

distancia desde la parada hacia la centralidad más cercana. Esta consideración es esencial, ya que omitirla puede llevar a una sobrestimación o subestimación del número de pasajeros que utilizan el sistema de transporte. Una mayor distancia podría influir en la elección de modos de transporte dependiendo del propósito del viaje. Este enfoque no solo mejora la precisión en la evaluación de la demanda, sino que también contribuye a una planificación más eficiente.

En el caso de ciudades con poca información de movilidad, recursos limitados y necesidad de respuestas rápidas debido a las exigencias temporales de las administraciones de turno, como sucede en Quito, una urbe en desarrollo, emplear estas variables se vuelve aún más relevante.

El primer clúster sugiere 12 estaciones que se localizan a una distancia promedio de 7 km del centro de negocios, su entorno urbano se caracteriza por tener un bajo índice de mezcla de usos de suelo (comercio especializado, comercio barrial y vivienda), además, de algunas facilidades para otros medios de transporte. Los destinos se localizan entre los 400 metros (50,21 %) y 600 metros (27,08 %) de la estación. A pesar de que esta tipología dispone de comercio especializado, esto no es suficiente para potencializar el BRT. Los análisis proponen incluir un uso que potencialice el dominio diversidad (por ejemplo, servicios administrativos públicos, entidades financieras, etc.) para promover las características DOT.

El segundo clúster sugiere 26 estaciones, las cuales se ubican en la centralidad o en la zona próxima. En estas estaciones el entorno urbano se caracteriza por tener un alto índice de mezcla de usos de suelo (con entidades de administración pública, comercio especializado, entidades financieras, oficinas, hoteles) y un espacio público con seguridad vial (señales de tránsito peatonal y vehicular). Los destinos se localizan entre los 200 metros (23,37 %) y los 400 metros (54,14 %) de la estación. Esta tipología es la que más se asemeja al DOT respecto a los dominios: diversidad, accesibilidad al centro de negocio, diseño y estacionamientos, pero presenta debilidad con respecto al dominio densidad residencial.

El tercer clúster sugiere 3 estaciones, las cuales se localizan a una distancia promedio de 10 km del centro de negocio al sur de la ciudad. En estas estaciones predomina la densidad de la población y el diseño (por la presencia de la densidad de la red peatonal), además del uso residencial dispone de comercio barrial, entidades educativas y espacios recreativos. Los destinos se localizan a una distancia de entre 400 metros (52,50 %) y 600 metros (29,38%) de la estación. Esta tipología únicamente dispone de usos residenciales, comercio y servicios a escala barrial, lo que no es suficiente para potencializar el sistema BRT, por lo que resulta necesario promover las características DOT en los espacios disponibles.

CAPÍTULO 9. LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

9.1. Limitaciones

El estudio presentó varias limitaciones para recopilar los datos de fuentes primarias a microescala. La primera limitación que enfrentó esta investigación fue registrar los itinerarios peatonales desde la parada hacia el primer destino. Esto ocurrió por la poca seguridad al realizar los rastreos en algunas paradas, así como por el dispositivo rudimentario GPS del celular que se utilizó para registrarlos.

Respecto a los datos del comportamiento de viaje y el perfil de usuario del BRT, la encuesta se aplicó en corto tiempo en las paradas justo antes del abordaje. Esta limitación temporal estuvo motivada por consideraciones operativas, dado el elevado número de pasajeros en los autobuses durante las horas pico, y por precauciones relacionadas con la seguridad ante posibles actividades delictivas a bordo. Como consecuencia de esta decisión logística, esta herramienta se vio restringida a la obtención de datos generales, sin alcanzar detalles más específicos, como la propiedad de vehículos o la posesión de licencia de conducir.

En la etapa de recopilación de los datos, se presentó una dificultad adicional debido a la inaccesibilidad de algunos segmentos del viario peatonal, los cuales no fueron considerados por la imposibilidad de identificar las características del entorno urbano y por no tener interacción con los usuarios. Al eliminarlos, modificaron el área de servicio de algunas estaciones,

Asimismo, en la etapa de procesamiento de la información no se consideraron algunos datos, pues al no emplear una aplicación digital para subirlos en tiempo real, su registro manual en formato Excel se vio expuesto a algunos errores tipográficos, los cuales se verificaron y se corrigieron. Esto sugiere que para actualizar la información o para ampliar el número de estaciones en futuros análisis es necesario una aplicación digital que facilite la gestión de los datos en tiempo real.

Finalmente, el tipo de estudio fue definido por el análisis estadístico de datos agregados, una elección influida por la proporción entre el número de estaciones y las variables predictoras. Por ende, es fundamental señalar que esta investigación no puede establecer causalidad; es decir, si bien los cambios en las variables en cada ajuste del modelo pueden indicar asociaciones positivas o negativas, no se puede definir una relación causal.

9.2. Futuras líneas de investigación

En términos generales, los resultados de esta investigación muestran que el entorno urbano ejerce influencia sobre el uso del sistema BRT, pero no todas las variables del modelo son significativas, siendo la densidad un ejemplo de ello. A la luz de estos hallazgos, se recomienda, antes de establecer una nueva línea de investigación, levantar información a microescala para aquellas estaciones sin datos y actualizar las existentes, ya que como consecuencia de la pandemia muchos locales comerciales han dejado de funcionar. Además, se requiere actualizar los datos obtenidos de fuentes estatales, como información demográfica.

Con la actualización de datos y la incorporación de otras variables del perfil del usuario, como indicadores de salud, es plausible considerar algunas modificaciones a los modelos propuestos. Esto permitiría explorar la relación de estas nuevas variables con la demanda del sistema BRT o la distancia a pie. Además, con la información disponibles, se abre la posibilidad de explorar nuevos modelos, como los basados en árboles de decisión, los cuales han sido empleados en estudios recientes sobre demanda (Ding et al., 2019).

El análisis de itinerarios peatonales, con el cual se estableció el umbral máximo de distancia a pie recorrida desde la parada hasta el primer destino, se puede ampliar mediante la inclusión de las rutas más cortas calculadas por un Sistema de Información Geográfica (GIS). Este enfoque busca proporcionar una interpretación más completa del comportamiento de los desplazamientos a pie.

Además, si se recopila información sobre las rutas de los usuarios encuestados, abriría posibilidad de desarrollar un modelo multinivel con datos de las características del entorno urbano a escala de ruta, en lugar, de paradas.

Finalmente, con la inminente puesta en operación del sistema de transporte sobre rieles, el Metro de Quito, y considerando que algunas de las bocas de mentor se encuentran dentro del área de servicio del sistema BRT, resultaría interesante analizar el dominio intermodal y su impacto en la demanda del sistema BRT

REFERENCIAS

- Arellana, J., Saltarín, M., Larrañaga, A. M., Álvarez, V. y Henao, C. A. (2020). Urban walkability considering pedestrians' perceptions of the built environment: A 10-year review and a case study in a medium-sized city in Latin America. *Transport Reviews*, 40(2), 183-203. <https://doi.org/10.1080/01441647.2019.1703842>
- Arrington, G. B., y Cervero, R. (2008). *Effects of TOD on Housing, Parking, and Travel*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/14179>
- Barrera, A. (2013, 14 de enero). Sistema Integrado de Transporte de pasajeros de Quito. *World Resources Institute*. <https://wrirosscities.org/media/sistema-integrado-de-transporte-de-pasajeros-en-quito>
- Bell, P. A., Greene, T. C., Fisher, J. D. y Baum, A. (1996). *Environmental psychology*, 4th ed. Harcourt.
- Bernick, M., y Cervero, R. (1997). *Transit Villages in the 21st Century*. McGraw-Hill. <https://trid.trb.org/view/572959>
- Bertolini, L. (1999). Spatial Development Patterns and Public Transport: The Application of an Analytical Model in the Netherlands. *Planning Practice & Research*, 14(2), 199-210. <https://doi.org/10.1080/02697459915724>
- Bivina, G. R., Gupta, A. y Parida, M. (2020). Walk Accessibility to Metro Stations: An analysis based on Meso- or Micro-scale Built Environment Factors. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102047. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102047>
- Boarnet, M. G., y Crane, R. (2001). *Travel by Design: The Influence of Urban Form on Travel*. Oxford University Press.
- Boegner, J., y Koch, U. (1984). Dual-mode buses in the city of Essen, West Germany. *Journal of Advanced Transportation*, 18(2), 163-183. <https://doi.org/10.1002/atr.5670180206>
- Brownson, R. C., Hoehner, C. M., Day, K., Forsyth, A. y Sallis, J. F. (2009). Measuring the Built Environment for Physical Activity. *American Journal of Preventive Medicine*, 36(4), 99-123. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2009.01.005>
- Cain, A., Flynn, J., McCourt, M. y Reyes, T. (2009). *Quantifying the importance of image and perception to bus rapid transit: March 2009*. United States. Department of Transportation.

- Calthorpe, P. (1993). *The next American metropolis: Ecology, community, and the American dream*. Princeton Architectural Press.
- Canepa, B. (2007). Bursting the Bubble: Determining the Transit-Oriented Development's Walkable Limits. *Transportation Research Record*, 1992(1), 28-34. <https://doi.org/10.3141/1992-04>
- Cao, X., Handy, S. L. y Mokhtarian, P. L. (2006). The Influences of the Built Environment and Residential Self-Selection on Pedestrian Behavior: Evidence from Austin, TX. *Transportation*, 33(1), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s11116-005-7027-2>
- Cardozo, O. D., García-Palomares, J. C. y Gutiérrez, J. (2012). Application of geographically weighted regression to the direct forecasting of transit ridership at station-level. *Applied Geography*, 34, 548-558. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.01.005>
- Cardozo, O. D., Gutiérrez, J. y Palomares, G. (2010). Influencia de la morfología urbana en la demanda de transporte público: Análisis mediante SIG y modelos de regresión múltiple. *Geofocus*, 10(4), 80-100. <https://geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/193>
- Carrión, F., y Erazo Espinosa, J. (2012). La forma urbana de Quito: Una historia de centros y periferias. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 41(3), 503-522. <https://doi.org/10.4000/bifea.361>
- Cervero, R. (1989). Suburban Employment Centers: Probing the Influence of Site Features on the Journey-to-Work: *Journal of Planning Education and Research*, 8(2), 75-85. <https://doi.org/10.1177/0739456X8900800203>
- Cervero, R. (1998). *The Transit Metropolis: A Global Inquiry*. Island Press.
- Cervero, R. (2001). Walk-and-Ride: Factors Influencing Pedestrian Access to Transit. *Journal of Public Transportation*, 3(4), 1-23. <https://doi.org/10.5038/2375-0901.3.4.1>
- Cervero, R. (2002). Built environments and mode choice: Toward a normative framework. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 7(4), 265-284. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(01\)00024-4](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(01)00024-4)
- Cervero, R. (2006). Alternative Approaches to Modeling the Travel-Demand Impacts of Smart Growth. *Journal of the American Planning Association*, 72(3), 285-295. <https://doi.org/10.1080/01944360608976751>

- Cervero, R. (2007). Transit-Oriented Development's Ridership Bonus: A Product of Self-Selection and Public Policies. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 39(9), 2068-2085. <https://doi.org/10.1068/a38377>
- Cervero, R. (2013a). Bus Rapid Transit (BRT): An Efficient and Competitive Mode of Public Transport. Working Paper, Institute of Urban and Regional Development. <https://iurd.berkeley.edu/wp/2013-01.pdf>
- Cervero, R. (2013b). Linking urban transport and land use in developing countries. *Journal of Transport and Land Use*, 6(1), 7-24. <https://doi.org/10.5198/jtlu.v6i1.425>
- Cervero, R., y Bosselmann, P. (1998). Transit villages: Assessing the market potential through visual simulation. *Journal of Architectural and Planning Research*, 15(3), 181-196. <https://www.jstor.org/estable/43030462>
- Cervero, R., y Dai, D. (2014). BRT TOD: Leveraging transit-oriented development with bus rapid transit investments. *Transport Policy*, 36, 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.08.001>
- Cervero, R., y Duncan, M. (2003). Walking, Bicycling, and Urban Landscapes: Evidence from the San Francisco Bay Area. *American Journal of Public Health*, 93(9), 1478-1483. <https://doi.org/10.2105/AJPH.93.9.1478>
- Cervero, R., y Guerra, E. (2011). Urban Densities and Transit: A Multi-dimensional Perspective. Working Paper, Institute of Transportation Studies. <http://www.reconnectingamerica.org/assets/Uploads/201109DensityUCBITSVWP.pdf>
- Cervero, R., y Kang, C. D. (2011). Bus rapid transit impacts on land uses and land values in Seoul, Korea. *Transport Policy*, 18(1), 102-116. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.06.005>
- Cervero, R., y Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), 199-219. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00009-6)
- Cervero, R., y Murakami, J. (2009). Rail and Property Development in Hong Kong: Experiences and Extensions. *Urban Studies*, 46(10), 2019-2043. <https://doi.org/10.1177/0042098009339431>

- Cervero, R., Murakami, J. y Miller, M. (2010). Direct ridership model of bus rapid transit in Los Angeles County, California. *Transportation Research Record*, 2145(1), 1-7. <https://doi.org/10.3141/2145-01>
- Cervero, R., Murphy, S., Ferrell, C., Goguts, N., Tsai, Y.-H., Arrington, G., Boroski, J., Smith-Heimer, J., Golem, R., Peninger, P., Nakajima, E., Chui, E., Dunphy, R., Myers, M. y McKay, S. (2004). Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospects. Report 102, Transportation Research Board. <https://www.worldtransitresearch.info/research/3066>
- Cervero, R., Sarmiento, O. L., Jacoby, E., Gomez, L. F. y Neiman, A. (2009). Influences of Built Environments on Walking and Cycling: Lessons from Bogotá. *International Journal of Sustainable Transportation*, 3(4), 203-226. <https://doi.org/10.1080/15568310802178314>
- Chan, S., y Miranda-Moreno, L. (2013). A station-level ridership model for the metro network in Montreal, Quebec. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40(3), 254-262. <https://doi.org/10.1139/cjce-2011-0432>
- Choi, J., Lee, Y. J., Kim, T. y Sohn, K. (2012). An analysis of Metro ridership at the station-to-station level in Seoul. *Transportation*, 39(3), 705-722. <https://doi.org/10.1007/s11116-011-9368-3>
- Christensen, K., y Levinson, D. (Eds.). (2003). *Encyclopedia of community: From the village to the virtual world*. Sage Publications.
- Christian, H. E., Bull, F. C., Middleton, N. J., Knuiman, M. W., Divitini, M. L., Hooper, P., Amarasinghe, A. y Giles-Corti, B. (2011). How important is the land use mix measure in understanding walking behaviour? Results from the RESIDE study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 8(1), 55. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-55>
- Chu, X. (2004). Ridership models at the stop level. Report No. BC137-31, National Center for Transit Research for Florida Department of Transportation. <https://www.worldtransitresearch.info/research/2562/>
- Clifton, K. J., Livi Smith, A. D. y Rodríguez, D. (2007). The development and testing of an audit for the pedestrian environment. *Landscape and Urban Planning*, 80(1-2), 95-110. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.06.008>

- Collins, G. R. (1959). The Ciudad Lineal of Madrid. *Journal of the Society of Architectural Historians*, 18(2), 38-53. <https://doi.org/10.2307/987976>
- Daniels, R., y Mulley, C. (2013). Explaining walking distance to public transport: The dominance of public transport supply. *Journal of Transport and Land Use*, 6(2), 5-20. <https://doi.org/10.5198/jtlu.v6i2.308>
- Deng, T., y Nelson, J. D. (2011). Recent Developments in Bus Rapid Transit: A Review of the Literature. *Transport Reviews*, 31(1), 69-96. <https://doi.org/10.1080/01441647.2010.492455>
- Deng, T., y Nelson, J. D. (2012). The perception of Bus Rapid Transit: A passenger survey from Beijing Southern Axis BRT Line 1. *Transportation Planning and Technology*, 35(2), 201-219. <https://doi.org/10.1080/03081060.2011.651885>
- Dimitriou, H. (2013). *Urban Transport Planning (Routledge Revivals): A developmental approach*. Routledge.
- Ding, C., Cao, X. y Liu, C. (2019). How does the station-area build environment influence Metrorail ridership? Using gradient boosting decision trees to identify non-linear thresholds. *Journal of Transport Geography*, 77, 70-78. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.04.011>
- Dittmar, H., y Poticha, S. (2004). *Defining transit-oriented development: the new regional building block. in: the new transit town: best practices in transit-oriented development*. Island Press. <https://trid.trb.org/view/706191>
- Dong, H., Ma, L. y Broach, J. (2016). Promoting sustainable travel modes for commute tours: A comparison of the effects of home and work locations and employer-provided incentives. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(6), 485-494. <https://doi.org/10.1080/15568318.2014.1002027>
- Duany, A., y Plater-Zyberk, E. (1994). *The Neighborhood, the District and the Corridor*. McGraw-Hill
- Duduta, N. (2013). Direct Ridership Models of Bus Rapid Transit and Metro Systems in Mexico City, Mexico. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2394, 93-99. <https://trid.trb.org/view/1242587>

- Dunphy, R. T., y Fisher, K. (1996). Transportation, Congestion, and Density: New Insights. *Transportation Research Record*, 1552(1), 89-96. <https://doi.org/10.1177/0361198196155200112>
- Durning, M., y Townsend, C. (2015). Direct Ridership Model of Rail Rapid Transit Systems in Canada. *Transportation Research Record*, 2537(1), 96-102. <https://doi.org/10.3141/2537-11>
- El-Geneidy, A., Grimsrud, M., Wasfi, R., Tétrault, P. y Surprenant-Legault, J. (2014). New evidencie on walking distances to transit stops: Identifying redundances and gaps using variable service areas. *Transportation*, 41(1), 193-210.
- Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros. (2017, 2 de mayo). *Rendición de cuentas EPMTPO 2016*. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. <https://www.trolebus.gob.ec/index.php/rendicion-de-cuentas-2016>
- Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros (2012). Metrobus-Q Transporte eficiente Guía y estadísticas 2012. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. <https://docplayer.es/62862765-Informe-de-gestion-epq-transporte-eficiente-informe-de-gestion-2012-guia-y-estadisticas-2012.html>
- Estupiñán, N., y Rodríguez, D. A. (2008). The relationship between urban form and station boardings for Bogotá's BRT. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(2), 296-306. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2007.10.006>
- Evans IV, J. E., Perincherry, V. y Bruce Douglas, G. (1997). Transit Friendliness Factor: Approach to Quantifying Transit Access Environment in a Transportation Planning Model. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1604(1), 32-39. <https://doi.org/10.3141/1604-05>
- Ewing, R. (1997). Is Los Angeles-Style Sprawl Desirable? *Journal of the American Planning Association*, 63(1), 107-126. <https://doi.org/10.1080/01944369708975728>
- Ewing, R., y Cervero, R. (2001). Travel and the Built Environment: A Synthesis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1780, 87-114. <https://doi.org/10.3141/1780-10>
- Ewing, R., y Cervero, R. (2010). Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis. *Journal of the American Planning Association*, 76(3), 265-294. <https://doi.org/10.1080/01944361003766766>

- Fitzsimons, L. (2013). *A multidisciplinary examination of walkability: Its concept, assessment and applicability*. Dublin City University.
- Foletta, N., Vanderkwaak, N. y Grandy, B. (2013). Factors that Influence Urban Streetcar Ridership in the United States. *Transportation Research Record*, 2353(1), 92-99. <https://doi.org/10.3141/2353-09>
- Forsyth, A., y Oakes, J. M. (2014). Workplace Neighborhoods, Walking, Physical Activity, Weight Status, and Perceived Health: Assessing the Built Environment. *Transportation Research Record*, 2452(1), 98-104. <https://doi.org/10.3141/2452-12>
- Forsyth, A., Oakes, J. M., Schmitz, K. H., y Hearst, M. (2007). Does Residential Density Increase Walking and Other Physical Activity? *Urban Studies*, 44(4), 679-697. <https://doi.org/10.1080/00420980601184729>
- Frank, L. D., Bradley, M., Kavage, S., Chapman, J., y Lawton, T. K. (2008). Urban form, travel time, and cost relationships with tour complexity and mode choice. *Transportation*, 35(1), 37-54. <https://doi.org/10.1007/s11116-007-9136-6>
- Frank, L. D., y Pivo, G. (1994). Impacts of Mixed Use and Density on Utilization of Three Modes of Travel: Single-Occupant Vehicle, Transit, and Walking. *Transportation Research Record*, 1466, 44-52. <http://www.reconnectingamerica.org/assets/Uploads/Frank-and-Pivo.pdf>
- Frank, L. D., Sallis, J. F., Saelens, B. E., Leary, L., Cain, K., Conway, T. L., y Hess, P. M. (2010). The development of a walkability index: Application to the Neighborhood Quality of Life Study. *British Journal of Sports Medicine*, 44(13), 924-933. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.058701>
- Furuseth, O. J. (1997). Neotraditional planning: A new strategy for building neighborhoods? *Land Use Policy*, 14(3), 201-213. [https://doi.org/10.1016/S0264-8377\(97\)00002-1](https://doi.org/10.1016/S0264-8377(97)00002-1)
- Galicia, L. D., y Cheu, R. L. (2013). Geographic information system-system dynamics procedure for bus rapid transit ridership estimation. *Journal of Advanced Transportation*, 47(3), 266-280. <https://doi.org/10.1002/atr.1188>
- García-Palomares, J. C., Gutiérrez, J., y Cardozo, O. D. (2013). Walking Accessibility to Public Transport: An Analysis Based on Microdata and GIS. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(6), 1087-1102. <https://doi.org/10.1068/b39008>
- Gehl, J., y Svarre, B. (2013). *How to study public life*. Island Press.

- Giles-Corti, B., Bull, F., Knuiman, M., McCormack, G., Van Niel, K., Timperio, A., Christian, H., Foster, S., Divitini, M., Middleton, N., y Boruff, B. (2013). The influence of urban design on neighbourhood walking following residential relocation: Longitudinal results from the RESIDE study. *Social Science and Medicine*, 77, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2012.10.016>
- Global BRT Data. (2020). <https://brtdata.org/>
- Gordón, S. (2012). *La movilidad sustentable en Quito: una visión de los más vulnerables*. FLACSO.
- Goldstein, H. (2003). *Multilevel statistical models* (3ª ed.). New York: Halstead Press
- Guerra, E., y Cervero, R. (2013). Is a half-mile circle the right standard for TODs? *Access*, (42), 17-22. <https://www.accessmagazine.org/spring-2013/half-mile-circle-right-standard-tods/>
- Gutiérrez, J. G., Cardozo, O. D. y García, J. C. (2008). Modelos de demanda potencial de viajeros en redes de transporte público: aplicaciones en el Metro de Madrid. *Proyección*, 4(7), 1-25. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/60200>
- Gutiérrez, J., y García-Palomares, J. C. (2008). Distance-Measure Impacts on the Calculation of Transport Service Areas Using GIS. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 35(3), 480-503. <https://doi.org/10.1068/b33043>
- Haggett, P. (1976). *Análisis locacional en la geografía humana*. Editorial Gustavo Gili.
- Handy, S. (1993). Regional Versus Local Accessibility: Implications for Nonwork Travel. *Transportation Research Record*, 1400, 58-66. <https://escholarship.org/uc/item/2z79q67d>
- Handy, S. (1996). Urban Form and Pedestrian Choices: Study of Austin Neighborhoods. *Transportation Research*, 1, 135-144.
- Handy, S. L., Boarnet, M. G., Ewing, R., y Killingsworth, R. E. (2002). How the built environment affects physical activity. *American Journal of Preventive Medicine*, 23(2), 64-73. [https://doi.org/10.1016/S0749-3797\(02\)00475-0](https://doi.org/10.1016/S0749-3797(02)00475-0)
- Handy, S., Mokhtarian, P., y Xinyu, C. (2005). Correlation or causality between the built environment and travel behavior? Evidence from Northern California. *Transportation*

- Research Part D: Transport and Environment*, 10(6), 427-444.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2005.05.002>
- He, J., Zhang, R., Huang, X., y Xi, G. (2018). Walking Access Distance of Metro Passengers and Relationship with Demographic Characteristics: A Case Study of Nanjing Metro. *Chinese Geographical Science*, 28(4), 612-623. <https://doi.org/10.1007/s11769-018-0970-6>
- Hendrickson, C. (1986). A note on trends in transit commuting in the United States relating to employment in the central business district. *Transportation Research Part A: General*, 20(1), 33-37. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(86\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0191-2607(86)90013-0)
- Herce, M. (2009). *Sobre la movilidad en la ciudad: propuestas para recuperar un derecho ciudadano*. Reverte.
- Hidalgo, D., y Graftieaux, P. (2008). Bus Rapid Transit Systems in Latin America and Asia: Results and Difficulties in 11 Cities. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2072(1), 77-88. <https://doi.org/10.3141/2072-09>
- Hidalgo, D., y Huizenga, C. (2013). Implementation of sustainable urban transport in Latin America. *Research in Transportation Economics*, 40(1), 66-77. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2012.06.034>
- Hidalgo, D., Pereira, L., Estupiñán, N., y Jiménez, P. L. (2013). TransMilenio BRT system in Bogota, high performance and positive impact – Main results of an ex-post evaluation. *Research in Transportation Economics*, 39(1), 133-138. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2012.06.005>
- Higgins, C. D., y Kanaroglou, P. S. (2016). A latent class method for classifying and evaluating the performance of station area transit-oriented development in the Toronto region. *Journal of Transport Geography*, 52, 61-72. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.02.012>
- Holtzclaw, J. (1990). *Explaining urban density and transit impacts on auto use*. California Energy Resources Conser. <https://trid.trb.org/view/336313>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). Población y demografía. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2011). Encuesta de Estratificación del Nivel Socioeconómico. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-estratificacion-del-nivel-socioeconomico/>
- Instituto de la Ciudad. (2022). Índice de Calidad de Vida. <http://www.institutodelaciudad.com.ec/indice/indice.html>
- International Federation for Housing and Planning. (1967). Town and Country Planning Association. <https://archive.tcpa.org.uk/archive/journals/1960-1969/1967/january-march-50>
- Jacobs, J. (1961). *Muerte y vida de las grandes ciudades*. Capitán Swing.
- Jiang, Y., Christopher Zegras, P. y Mehndiratta, S. (2012). Walk the line: Station context, corridor type and bus rapid transit walk access in Jinan, China. *Journal of Transport Geography*, 20(1), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.09.007>
- Jun, M.-J. (2008). Are Portland's Smart Growth Policies Related to Reduced Automobile Dependence? *Journal of Planning Education and Research*, 28(1), 100-107. <https://doi.org/10.1177/0739456X08319240>
- Kamruzzaman, M. D., Baker, D., Washington, S. y Turrell, G. (2014). Advance transit-oriented development typology: Case study in Brisbane, Australia. *Journal of Transport Geography*, 34, 54-70. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.11.002>
- Kimbler, J. (2005). Bus Rapid Transit in Downtown Orlando, FL, USA. *ITE Journal*, 75(2), 40-42. <https://www.proquest.com/openview/27844c2738c5ec85b76a723ba4928a3c/1?pq-origsite=gscholarycbl=42116>
- Kitamura, R., Mokhtarian, P. L. y Laidet, L. (1997). A micro-analysis of land use and travel in five neighborhoods in the San Francisco Bay Area. *Transportation*, 24(2), 125-158. <https://doi.org/10.1023/A:1017959825565>
- Kolko, J. (2011). *Making the Most of Transit: Density, Employment Growth, and Ridership around New Stations*. Public Policy Institute of California.
- Kuby, M., Barranda, A. y Upchurch, C. (2004). Factors influencing light-rail station boardings in the United States. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38(3), 223-247. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2003.10.006>

- Kwoka, G. J., Boschmann, E. E. y Goetz, A. R. (2015). The impact of transit station areas on the travel behaviors of workers in Denver, Colorado. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 80, 277-287. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.08.004>
- Lachapelle, U., y Noland, R. B. (2012). Does the commute mode affect the frequency of walking behavior? The public transit links. *Transport Policy*, 21, 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.01.008>
- Lamíquiz, F. J. (2011). *Implicaciones de la accesibilidad configuración al en la movilidad peatonal. El caso de Madrid* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Biblioteca Universitaria. <https://oa.upm.es/15031/>
- Lee, B., Gordon, P., Moore, J. E. y Richardson, H. W. (2011). The attributes of residence/workplace areas and transit commuting. *Journal of Transport and Land Use*, 4(3), 43-63. <https://doi.org/10.5198/jtlu.v4i3.310>
- Lee, C., y Moudon, A. V. (2006). Correlates of Walking for Transportation or Recreation Purposes. *Journal of Physical Activity and Health*, 3(1), 77-98. <https://doi.org/10.1123/jpah.3.s1.s77>
- Lee, S., Yi, C., y Hong, S.-P. (2013). Urban structural hierarchy and the relationship between the ridership of the Seoul Metropolitan Subway and the land-use pattern of the station areas. *Cities*, 35, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.06.010>
- Levinson, H., Zimmerman, S., Clinger, J. y Rutherford, G. (2002). Bus Rapid Transit: An Overview. *Journal of Public Transportation*, 5(2), 1-30. <https://doi.org/10.5038/2375-0901.5.2.1>
- Levinson, H., Zimmermann, S., Clinger, C., Rutherford, S., Smith, R., Craknell, J. y Soberman, R. (2003). Bus Rapid Transit. Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit. Report 90, Transportation Research Board. https://nacto.org/docs/usdg/tcrp_rpt_90_case_studies_volume_1_levinson.pdf
- Lin, J., y Gau, C. (2006). A TOD planning model to review the regulation of allowable development densities around subway stations. *Land Use Policy*, 23(3), 353-360. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2004.11.003>
- Lin, J., y Shin, T. Y. (2008). Does Transit-Oriented Development Affect Metro Ridership?: Evidence from Taipei, Taiwan. *Transportation Research Record*, 2063(1), 149-158. <https://doi.org/10.3141/2063-18>

- Lin, T., Xia, J., Robinson, T. P., Goulias, K. G., Church, R. L., Oлару, D., Tapin, J. y Han, R. (2014). Spatial analysis of access to and accessibility surrounding train stations: A case study of accessibility for the elderly in Perth, Western Australia. *Journal of Transport Geography*, 39, 111-120. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.06.022>
- Lindau, L. A., Hidalgo, D. y Facchini, D. (2010). Curitiba, the Cradle of Bus Rapid Transit. *Built Environment*, 36(3), 274-282. <https://doi.org/10.2148/benv.36.3.274>
- Liu, C., Erdogan, S., Ma, T. y Ducca, F. W. (2016). How to increase rail ridership in Maryland: Direct ridership models for policy guidance. *Journal of Urban Planning and Development*, 142(4), 1-16. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000340](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000340)
- Liu, Y., Yang, D., Timmermans, H. J. P. y de Vries, B. (2020). Analysis of the impact of street-scale built environment design near metro stations on pedestrian and cyclist road segment choice: A stated choice experiment. *Journal of Transport Geography*, 82, 102570. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102570>
- Loo, B. P. Y., Chen, C., y Chan, E. T. H. (2010). Rail-based transit-oriented development: Lessons from New York City and Hong Kong. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 202-212. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.06.002>
- López Lambas, M. E., y Valdés Serrano, C. (2013). BHLS, Bus, tram: Tesi, antitesi, sintesi. *Ingegneria Ferroviaria*, 68(6), 569-585. <http://oa.upm.es/29352/>
- Lu, Y., Xiao, Y. y Ye, Y. (2017). Urban density, diversity and design: Is more always better for walking? A study from Hong Kong. *Preventive Medicine*, 103, 99-103. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2016.08.042>
- Mejía-Dugand, S., Hjelm, O., Baas, L. y Ríos, R. A. (2013). Lessons from the spread of Bus Rapid Transit in Latin America. *Journal of Cleaner Production*, 50, 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.028>
- Meyer, J. R., Kain, J. F. y Wohl, M. (1965). *The Urban Transportation Problem*. Harvard University Press.
- Millington, C., Ward Thompson, C., Rowe, D., Aspinall, P., Fitzsimons, C., Nelson, N., y Mutrie, N. (2009). Development of the Scottish Walkability Assessment Tool (SWAT). *Health y Place*, 15(2), 474-481. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2008.09.007>

- Millward, H., Spinney, J. y Scott, D. (2013). Active-transport walking behavior: Destinations, durations, distances. *Journal of Transport Geography*, 28, 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.11.012>
- Mitchell, R. B., y Rapkin, C. (1954). *Urban Traffic: A Function of Land Use*. Columbia University Press.
- Monteiro, F. B., y Campos, V. B. G. (2012). A Proposal of Indicators for Evaluation of the Urban Space for Pedestrians and Cyclists in Access to Mass Transit Station. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 54(4), 637-645. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.781>
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2011). *Plan de desarrollo 2012-2022*. Consejo Metropolitano de Planificación. http://www.emaseo.gob.ec/documentos/lotaip_2012/s/plan_de_desarrollo_2012_2014.pdf
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2014). *Diagnóstico de la movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito el Plan Metropolitano de Desarrollo Territorial (PMOT)*. Secretaría de Movilidad. <http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wp-content/uploads/documentos/pdf/diagnosticomovilidad.pdf>
- Murray, A. T., Davis, R., Stimson, R. J. y Ferreira, L. (1998). Public Transportation Access. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 3(5), 319-328. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(98\)00010-8](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(98)00010-8)
- O'Neill, W., Ramsey, D. y Chou, J. (1992). Analysis of transit service areas using geographic information systems. *Transportation Research Record*, 1364, 131-138. <https://trid.trb.org/view/371490>
- O'Sullivan, S., y Morrall, J. (1996). Walking Distances to and from Light-Rail Transit Stations. *Transportation Research Record*, 1538(1), 19-26. <https://doi.org/10.1177/0361198196153800103>
- Páez, A. (2006). Exploring contextual variations in land use and transport analysis using a probit model with geographical weights. *Journal of Transport Geography*, 14(3), 167-176. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2005.11.002>

- Pan, H., Li, J., Shen, Q., y Shi, C. (2017). What determines rail transit passenger volume? Implications for transit-oriented development planning. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57, 52-63. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.09.016>
- Pojani, D., y Stead, D. (2015). Sustainable Urban Transport in the Developing World: Beyond Megacities. *Sustainability*, 7(6), 7784-7805. <https://doi.org/10.3390/su7067784>
- Pozueta, J., Lamiquiz, F., y Porto, M. (2013). *La ciudad paseable: recomendaciones para la consideración de los peatones en el planeamiento, el diseño urbano y la arquitectura*. CEDEX.
- Raudenbush, S.W., y Bryk, A.S. (2002). Hierarchical linear models: Applications and data analysis methods (2ª ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Richardson, A. J., Ampt, E. S. y Meyburg, A. H. (1995). *Survey Methods for Transport Planning*. Eucalyptus Press.
- Rodríguez-Tarduchy, M. J., Bisbal Grandal, I. y Ontiveros de la Fuente, O. (2011). *Forma y ciudad: en los límites de la arquitectura y el urbanismo*. Cinter Divulgación Técnica
- Rodríguez, D. A., Brisson, E. M., y Estupiñán, N. (2009). The relationship between segment-level built environment attributes and pedestrian activity around Bogota's BRT stations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(7), 470-478. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2009.06.001>
- Rodríguez, D. A., y Joo, J. (2004). The relationship between non-motorized mode choice and the local physical environment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 9(2), 151-173. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2003.11.001>
- Rodríguez, D. A., y Kang, C. D. (2020). A typology of the built environment around rail stops in the global transit-oriented city of Seoul, Korea. *Cities*, 100, 102663. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102663>
- Rodríguez, D. A., y Vergel-Tovar, C. E. (2017). Urban development around bus rapid transit stops in seven cities in Latin-America. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, 11(2), 175-201. <https://doi.org/10.1080/17549175.2017.1372507>
- Saelens, B. E., y Handy, S. L. (2008). Built Environment Correlates of Walking: A Review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(7), 550-566. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31817c67a4>

- Sarker, R. I., Mailer, M., y Sikder, S. K. (2019). Walking to a public transport station: Empirical evidence on willingness and acceptance in Munich, Germany. *Smart and Sustainable Built Environment*, 9(1), 38-53. <https://doi.org/10.1108/SASBE-07-2017-0031>
- Silva, J. de A., Golob, T. F. y Goulias, K. G. (2006). Effects of Land Use Characteristics on Residence and Employment Location and Travel Behavior of Urban Adult Workers. *Transportation Research Record*, 1977(1), 121-131. <https://doi.org/10.1177/0361198106197700115>
- Sivakumar, T., Okamura, T., Yabe, T. y Nakamura, F. (2006). Survey design to grasp and compare user's attitudes on bus rapid transit (BRT) in developing countries. *IATSS Research*, 30(2), 51-58. <https://core.ac.uk/download/pdf/81968822.pdf>
- Smith, H., y Raemaekers, J. (1998). Land use pattern and transport in Curitiba. *Land Use Policy*, 15(3), 233-251. [https://doi.org/10.1016/S0264-8377\(98\)00016-7](https://doi.org/10.1016/S0264-8377(98)00016-7)
- Sohn, K., y Shim, H. (2010). Factors generating boardings at Metro stations in the Seoul metropolitan area. *Cities*, 27(5), 358-368. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2010.05.001>
- Southworth, M. (2005). Designing the Walkable City. *Journal of Urban Planning and Development*, 131(4), 246-257. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9488\(2005\)131:4\(246\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(2005)131:4(246))
- Spinney, E. L., Millward, H. y Scott, D. (2012). Walking for Transport Versus Recreation: A Comparison of Participants, Timing, and Locations. *Journal of Physical Activity and Health*, 9(2), 153-162. <https://doi.org/10.1123/jpah.9.2.153>
- Sun, G., Zacharias, J., Ma, B. y Oreskovic, N. M. (2016). How do metro stations integrate with walking environments? Results from walking access within three types of built environment in Beijing. *Cities*, 56, 91-98. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.03.001>
- Sung, H., y Oh, J. T. (2011). Transit-oriented development in a high-density city: Identifying its association with transit ridership in Seoul, Korea. *Cities*, 28(1), 70-82. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2010.09.004>
- Sung, H., Lee, S. y Jung, S. (2014). Identifying the Relationship between the Objectively Measured Built Environment and Walking Activity in the High-Density and Transit-Oriented City, Seoul, Korea. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 41(4), 637-660. <https://doi.org/10.1068/b3911>

- Suzuki, H., Cervero, R. y Luchi, K. (2014). *Transformando las ciudades con el transporte público: Integración del transporte público y el uso del suelo para un desarrollo urbano sostenible*. Banco Mundial.
- Taylor, B. D., y Fink, N. Y. (2003). The Factors Influencing Transit Ridership: A Review and Analysis of the Ridership Literature. Working Paper, UCLA Department of Urban Planning. <https://escholarship.org/uc/item/3xk9j8m2>
- Tu, W., Cao, R., Yue, Y., Zhou, B., Li, Q. y Li, Q. (2018). Spatial variations in urban public ridership derived from GPS trajectories and smart card data. *Journal of Transport Geography*, 69, 45-57. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.04.013>
- U.S. Department of Transportation Federal Transit Administration. (1998). *Issues in Bus Rapid Transit*. U.S. Department of Transportation, Federal Transit Administration.
- United Nations. (2019). *World urbanization prospects: The 2018 revision*. Department of Economic and Social Affairs. <https://population.un.org/wup/publications/Files/WUP2018-Report.pdf>
- Valdés Serrano, C., y López Lambas, M. E. (2010). Del BRT al BHLS: Un enfoque europeo de los sistemas de transporte masivo en autobús. Actas del IX Congreso de Ingeniería del Transporte, Madrid, España. <http://www.cit2010.org/>
- Vale, D. S., y Pereira, M. (2016). Influence on pedestrian commuting behavior of the built environment surrounding destinations: A structural equations modeling approach. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(8), 730-741. <https://doi.org/10.1080/15568318.2016.1144836>
- Vergel-Tovar, E., y Rodríguez, D. (2014). Examining the relationship between BRT ridership and the built environment in Latin America. https://www.slideshare.net/EMBARQNetwork/moving-beyond-streets-for-cars-madeline-brozen?next_slideshow=1
- Vergel-Tovar, C. E., y Rodríguez, D. A. (2018). The ridership performance of the built environment for BRT systems: Evidence from Latin America. *Journal of Transport Geography*, 73, 172-184. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.06.018>
- Voorhees, A. M. (1955). *A general theory of traffic movement*. Yale University

- Weinstein Agrawal, A., Schlossberg, M. e Irvin, K. (2008). How Far, by Which Route and Why? A Spatial Analysis of Pedestrian Preference. *Journal of Urban Design*, 13(1), 81-98. <https://doi.org/10.1080/13574800701804074>
- Weinstock, A., Hook, W., Replogle, M. y Cruz, R. (2011). *Recapturing Global Leadership in Bus Rapid Transit. A Survey of Select U.S. Cities*. Institute for Transportation & Development Policy. https://itdpdotorg.wpengine.com/wp-content/uploads/2014/07/20110526ITDP_USBRT_Report-HR.pdf
- Wright, L., y Hook, W. (2010). *Guía de Planificación de Sistemas BRT (Autobuses de Tránsito Rápido)*. Fundación William y Flora Hewlett / Fondo Global del Ambiente / Global Environment Facility / Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Xu, W. A., Guthrie, A., Fan, Y., y Li, Y. (2017). Transit-oriented development: Literature review and evaluation of TOD potential across 50 Chinese cities. *Journal of Transport and Land Use*, 10(1), 743-762. <https://doi.org/10.5198/jtlu.2017.922>
- Yan, P.-J., y Lew, S. (2009). An Asian Model of TOD: The Planning Integration in Singapore. En C. Curtis y J. Renne, (Ed.), *Transit Oriented Development: Making it happen*, (pp. 91-106). Routledge.
- Zárate, A. (1996). Ciudad, transporte y territorio. UNED.
- Zhang, M., y Yen, T. H. (2020). The impact of Bus Rapid Transit (BRT) on land and property values: A meta-analysis. *Land Use Policy*, 96, 104684. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104684>
- Zhang, Y., y Haghani, A. (2015). A gradient boosting method to improve travel time prediction. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 308-324. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.02.019>
- Zhao, J., Deng, W., Song, Y. y Zhu, Y. (2013). What influences Metro station ridership in China? Insights from Nanjing. *Cities*, 35, 114-124. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.07.002>
- Zhao, P., y Wan, J. (2020). Examining the effects of neighbourhood design on walking in growing megacity. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86, 102417. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102417>

Zoido, F., Vega, S., Piñeiro, Á., Morales, G., Mas, R., Lois González, R. C. y González, J. (2013). *Diccionario de Urbanismo, geografía urbana y ordenación del territorio*. Cátedra.

Zupan, J. M., y Pushkarev, B. (Eds.). (1977). *Where express buses work*. Bus Service Planning.

ANEXO

Anexo 1. Mapa de variables a pie de calle (Objetivo 2)



Figura 34. Mapa de los segmentos de red de la pendiente en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús (Ítem de generalidades en la ficha PEDS)

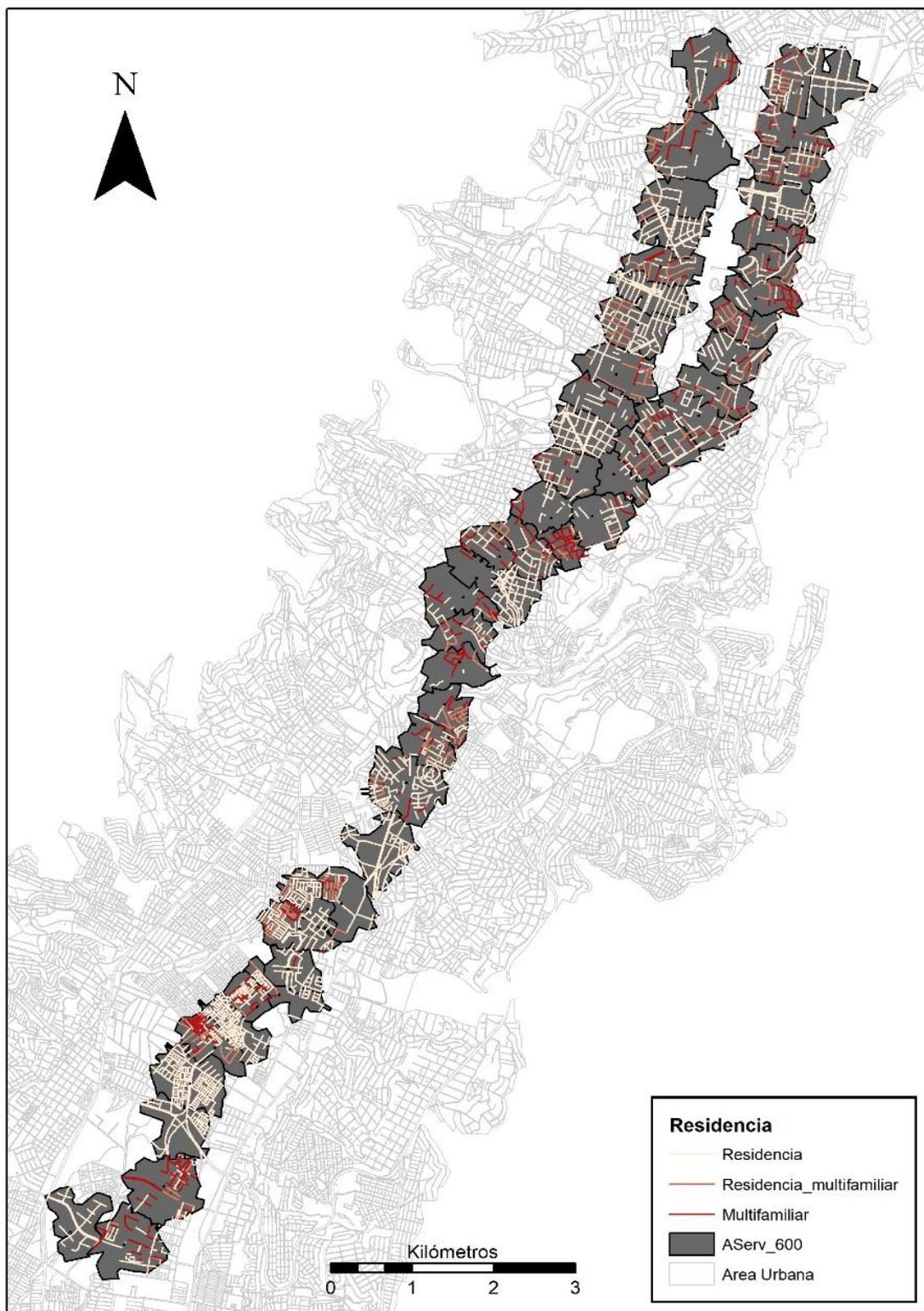


Figura 35. Mapa de los segmentos de red de tipología de vivienda en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús (Ítem de usos de suelo en la ficha PEDS)

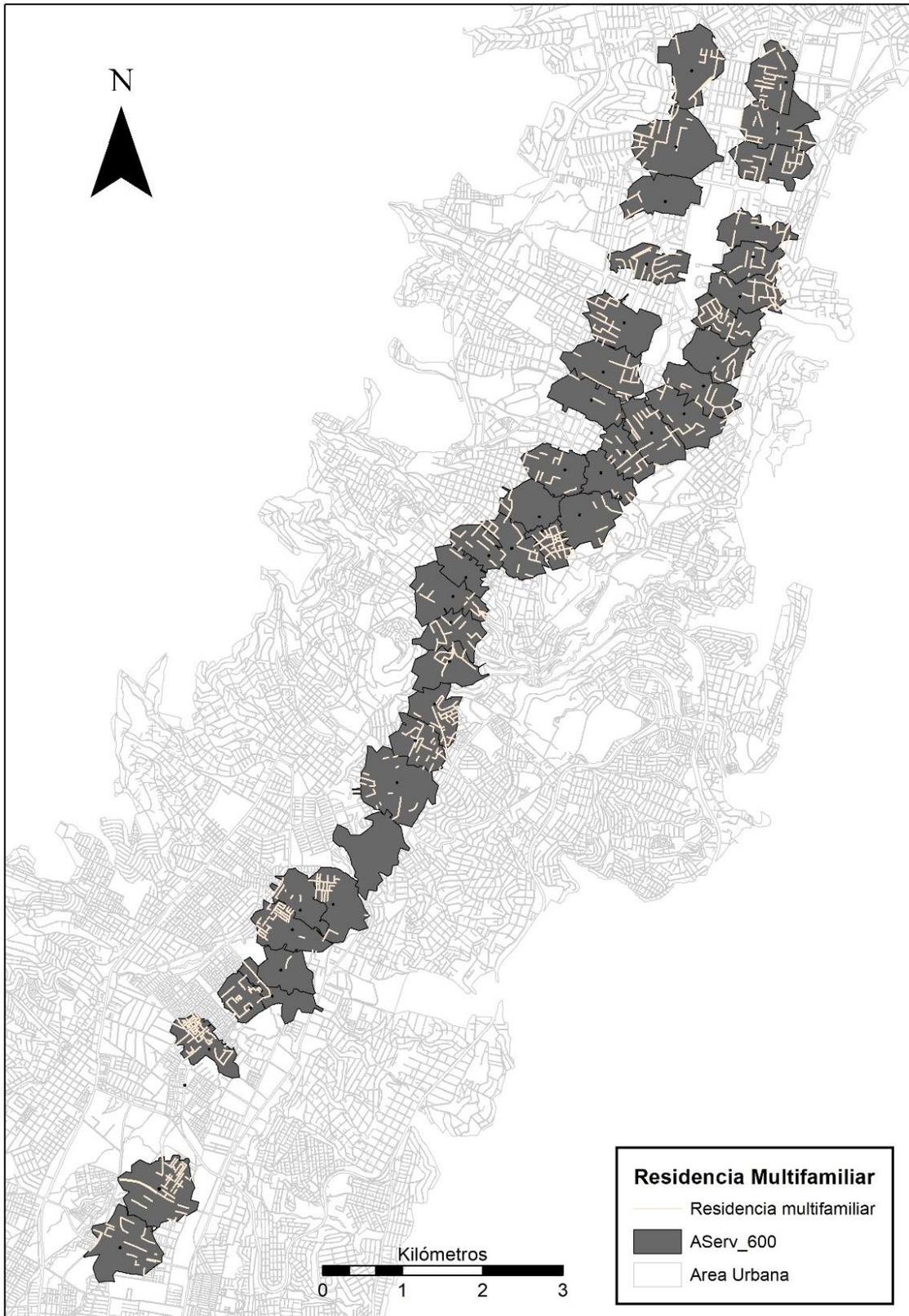


Figura 36. Mapa de los segmentos de red de vivienda multifamiliar en los corredores Ecovía y Trolebús (Ítem de usos del suelo en la ficha PEDS)

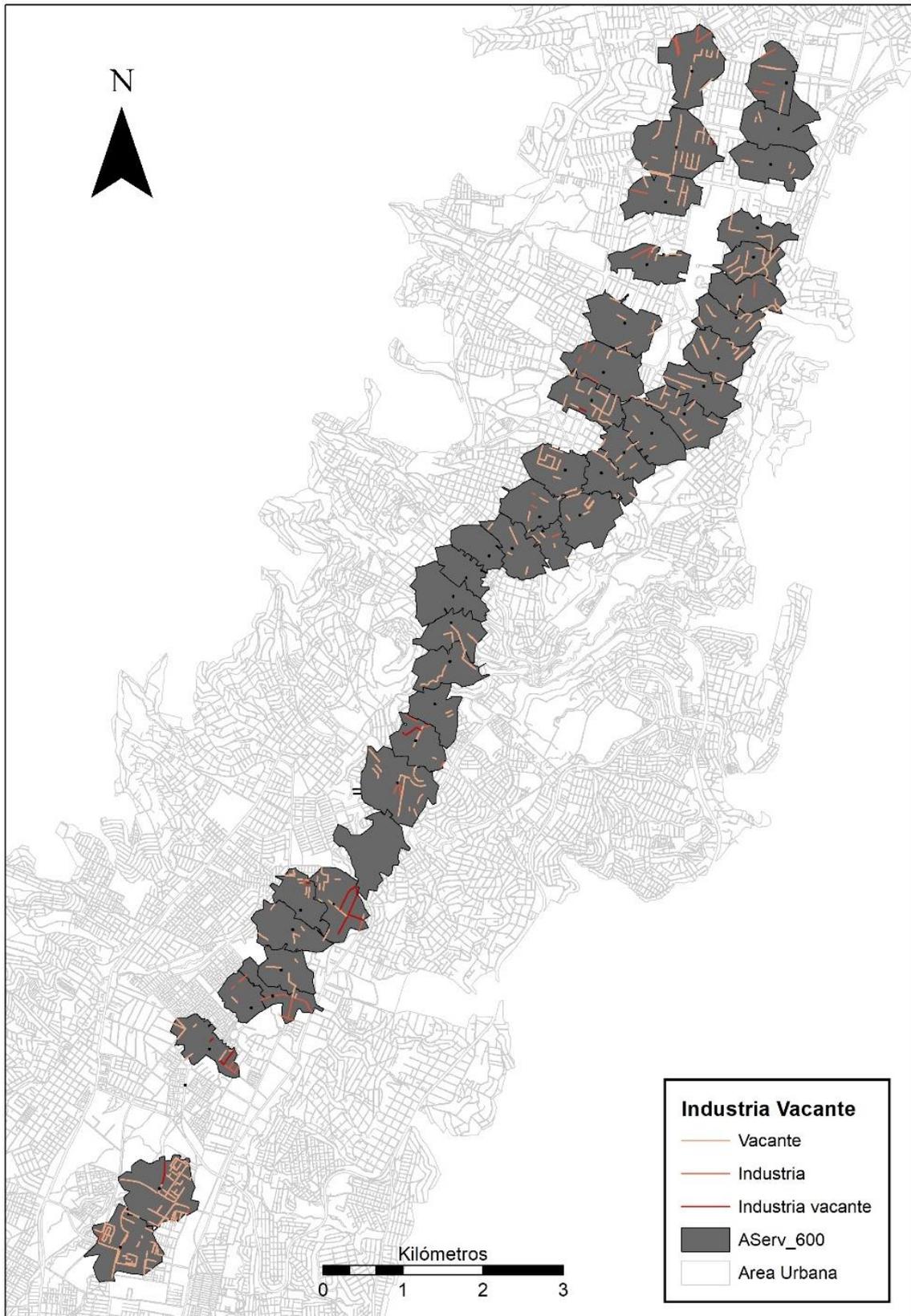


Figura 37. Mapa de los segmentos de red con usos de industria y vacantes en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús (Ítem de usos del suelo en la ficha PEDS)

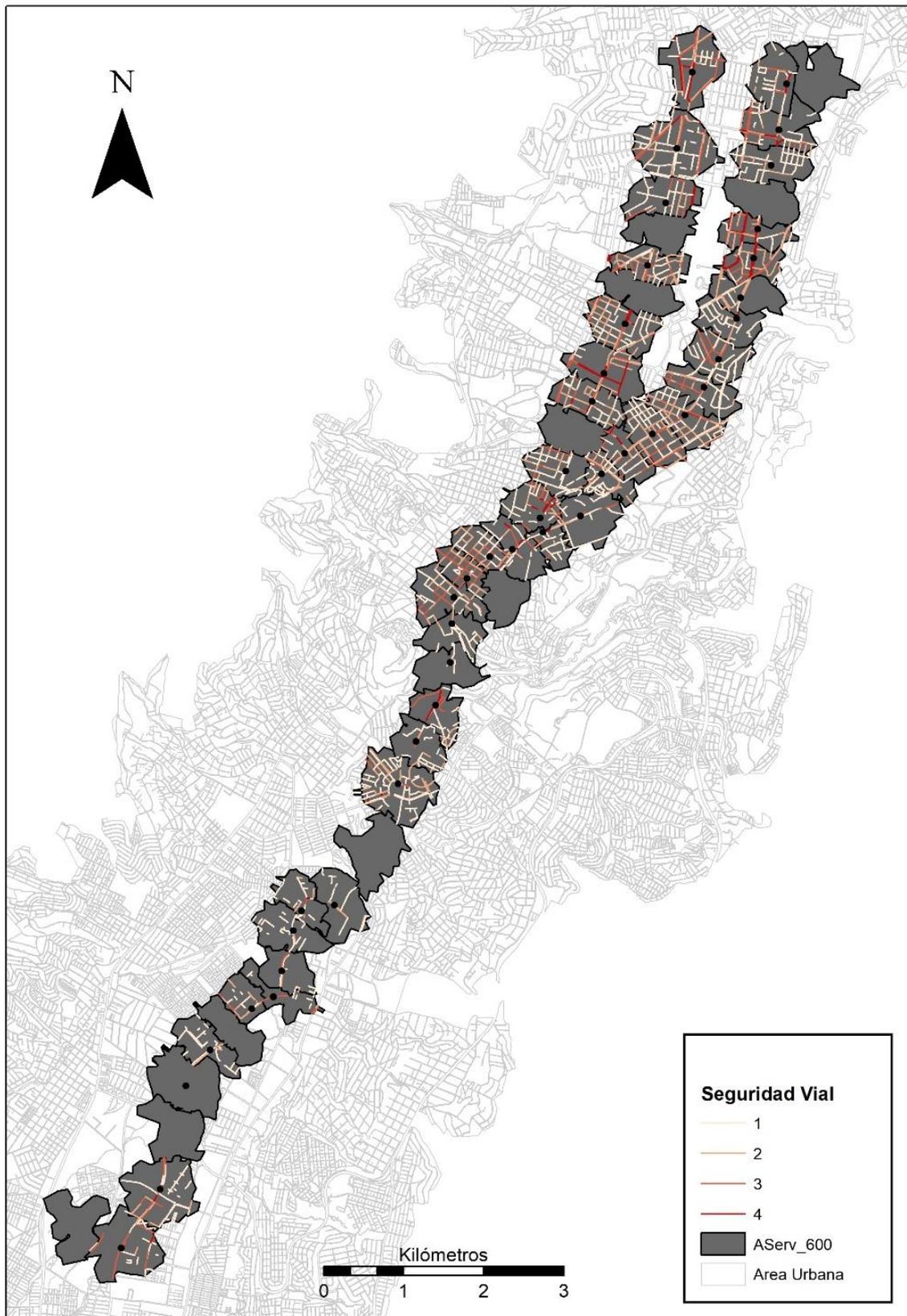


Figura 38. Mapa de los segmentos del viario que tienen seguridad vial en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús (Ítem de facilidades de desplazamiento en la ficha PEDS)



Figura 39. Mapa de los segmentos de red con parqueaderos formales e informales en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús (Ítem instalaciones de transporte rodado en la ficha PEDS)



Figura 40. Mapa de los segmentos de red con fachadas con transparencia en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús (Ítem seguridad en la ficha PEDS)

Anexo 2. Mapa localización de destinos (Objetivo 3)



Figura 41. Mapa de isócronas con los destinos de los itinerarios peatonales en el entorno próximo a los corredores Ecovía y Trolebús

Anexo 3. Producción de Tesis

Publicaciones en Revistas

Alba Núñez (2022). Entorno urbano, densidad poblacional y uso del Sistema de Autobuses de Transporte Rápido en Quito. EURE 2023, Vol. 148.

Publicaciones en las memorias de Congresos

Alba Núñez (2022). The relationship between urban environment, sociodemographic variable and the use of BRT public transport in Quito. 1st Conference on Future Challenges in Sustainable Urban Planning & Territorial Management. Online (Presentación).

Alba Núñez (2022). Relación entre la distancia a pie y el entorno urbano próximo a las estaciones del sistema BRT de Quito. XIV CTV International Conference on Virtual, City and Territory. Bogotá, Colombia (Presentación).

Comunicaciones en Congresos

Alba Núñez (2022). The relationship between urban environment, sociodemographic variable and the use of BRT public transport in Quito. En 1st Conference on Future Challenges in Sustainable Urban Planning & Territorial Management. Online (Presentación).

Alba Núñez (2022). Relación entre la distancia a pie y el entorno urbano próximo a las estaciones del sistema BRT de Quito. En el XIV CTV International Conference on Virtual, City and Territory. Bogotá, Colombia (Presentación).

Alba Núñez (2022). VI congreso ecuatoriano de estudios sobre la ciudad. Riobamba, Ecuador (Presentación).