

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL SISTEMA DE AUTOBÚS DE TRÁNSITO RÁPIDO (BRT) Y LAS MOTOCICLETAS EN CALI DESDE LA PERSPECTIVA DE LA ACCESIBILIDAD

Sandra Milena Guerrero Martínez

Geraldine Cabezas Altamirano

UNIVERSIDAD DEL VALLE

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL SISTEMA DE AUTOBÚS DE TRÁNSITO RÁPIDO (BRT) Y LAS
MOTOCICLETAS EN CALI DESDE LA PERSPECTIVA DE LA ACCESIBILIDAD

Sandra Milena Guerrero Martínez Cód. 1222187
Geraldine Cabezas Altamirano Cód. 1226294

Director

CIRO JARAMILLO MOLINA Ph.D

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

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3.	OBJETIVOS	3
3.1.	OBJETIVO GENERAL.....	3
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
4.	JUSTIFICACIÓN.....	3
5.	MARCO DE REFERENCIA	4
5.1.	MARCO CONCEPTUAL	4
5.1.1.	Accesibilidad.....	4
5.1.2.	Autobús de tránsito rápido (BRT).....	4
5.1.3.	Motocicleta	4
5.1.4.	Movilidad urbana y cohesión social	5
5.1.5.	Planificación de transporte	5
5.1.6.	Área urbana.....	5
5.2.	MARCO TEÓRICO.....	5
5.2.1.	Estadística.....	5
5.2.2.	Accesibilidad.....	8
5.2.3.	Componentes de la accesibilidad (Geurs & Van Wee, 2004).....	13
5.3.	ESTADO DEL ARTE	15
6.	METODOLOGÍA.....	17
6.1.	Zona de estudio.....	17
6.2.	Caracterización de medios de transporte	18
6.2.1.	Bus de tránsito rápido (BRT)	18
6.2.2.	Motocicletas.....	20
6.3.	Recopilación y procesamiento de información.....	20
6.3.1.	Motocicletas.....	21
6.3.2.	Autobús de Transito Rápido BRT.....	22
6.4.	Caracterización de componentes operacionales	23
6.4.1.	Variables.....	23
6.4.2.	Indicadores de accesibilidad	25

6.5.	Análisis.....	27
6.6.	Validación.....	27
7.	RESULTADOS	28
7.1.	Recopilación de información.....	28
7.1.1.	Motocicletas.....	28
7.1.2.	BRT.....	30
7.2.	Análisis y resultados de indicadores de accesibilidad.....	31
7.2.1.	Índice de Densidad.....	31
7.2.2.	Índice de Shimbél.....	35
7.2.3.	Índice Gravitacional.....	39
7.2.4.	Tiempo de viaje.....	43
8.	VALIDACIÓN	47
9.	CONCLUSIONES	49
10.	RECOMENDACIONES	50
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	52
12.	ANEXOS	56

TABLA DE TABLAS

Tabla 1 Distribución de rutas.	19
Tabla 2. Fragmento de distribución normal de velocidades de motocicletas vs carro.....	28
Tabla 3.Relación del índice de Gravedad respecto a la población.....	39

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Accesibilidad relativa.....	9
Ilustración 2. Accesibilidad integral.....	9
Ilustración 3. Relación entre accesibilidad y sus componentes.	15
Ilustración 4. Metodología	17
Ilustración 5. Zona de estudio.....	18
Ilustración 6.Incremento en la adquisición de motocicletas en la ciudad de Cali	20
Ilustración 7. Distribución normal de la diferencia de velocidades (moto (campo) vs carro (Google Maps)).	29
Ilustración 8. Relación de velocidad de Google Maps de vehículos livianos y velocidad de campo de motocicletas.	29
Ilustración 9. Procedimiento de ruteo en Google Maps para el BRT.....	30
Ilustración 10.Estadística índice de Densidad.	31
Ilustración 11.Índice de Densidad para las Motocicletas.....	33
Ilustración 12.Índice de Densidad para el BRT.....	34
Ilustración 13.Estadística índice de Shimbél.	36
Ilustración 14. Índice de Shimbél para las motocicletas.	37
Ilustración 15.Índice de Shimbél para el BRT.	38
Ilustración 16.Estadística índice de Gravedad.	40
Ilustración 17.Índice de Gravedad para las motocicletas.	41
Ilustración 18.Índice de Gravedad para el BRT.	42
Ilustración 19.Estadística índice de Gravedad.	44
Ilustración 20. Diferencia de tiempo de viaje para las Motocicletas	45
Ilustración 21.Diferencia de tiempo de viaje para el BRT.	46
Ilustración 22. Relación tiempo de viaje vs estrato socioeconómico	47
Ilustración 23.Relación entre los índices de accesibilidad para motocicletas.	48
Ilustración 24.Relación entre los índices de accesibilidad para BRT.....	48

AGRADECIMIENTOS

Sandra Milena Guerrero Martínez

Agradezco infinitamente a Dios por permitirme llevar a cabo una etapa más en mi vida, a mis padres de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme y sacar adelante este proceso, los cuales son mi principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, a mis hermanos por su apoyo incondicional, son mi fortalecimiento, a mis formadores que dieron su empeño en guiarme y para ser un gran profesional, a mi amiga y compañera de tesis, con quien logramos superar muchos obstáculos en la carrera, donde demostramos que el que persevera, alcanza.

Geraldine Cabezas Altamirano

Primeramente doy gracias a Dios por permitirme ser cada día mejor y culminar una etapa más de mi vida con éxito, a mis padres por su esfuerzo y perseverancia, a mi familia por brindarme su apoyo incondicional, a la comunidad académica por su conocimiento y formación integral como profesional en ingeniería topográfica, a mi director de tesis, por su orientación y compromiso, a mi compañera y amiga Sandra Milena, por su dedicación y por apoyarme en todo momento y finalmente y no por eso menos importante, a mis compañeros de estudio por su colaboración, confianza y amistad.

RESUMEN

En este trabajo se aborda la accesibilidad como herramienta de análisis comparativa entre el autobús de tránsito rápido (BRT) y las motocicletas, mediante la implementación de la metodología basada en indicadores de accesibilidad tales como el índice de Shimbél, índice de gravedad, índice de densidad y el análisis de tiempo de viaje, con el fin de estudiar las condiciones y características de cada medio de transporte en relación con el territorio y brindar información estructurada, científica y caracterizada de los mismos. De acuerdo a los resultados obtenidos, se evidencia que una de las razones por las que desde el año 2009 la tendencia de tasa de motorización va en aumento de manera alarmante, es el tiempo que se debe invertir en el transporte público de la ciudad, en este caso, el BRT, siendo éste un factor que incentiva el uso de las motocicletas.

La realización de este proyecto fue importante porque aporta a los procesos de planeación, ya que en la medida en que los recursos disponibles para el desarrollo de las actividades humanas son escasos, hace necesaria la optimización de su uso para cubrir la demanda, dentro del principio de equidad.

Palabras claves: accesibilidad, área urbana, BRT, motocicletas, planificación de transporte, territorio.

1. INTRODUCCIÓN

El transporte refleja las relaciones que se establecen entre las diferentes actividades de la ciudad, en los últimos años ha generado que los planificadores y expertos tengan en cuenta hitos y variables antes poco relevantes en la formulación de políticas, que permitan mejorar la movilidad y que ésta se enmarque en la movilidad sostenible, donde la accesibilidad se convierte en un concepto vinculado a los lugares, a la posibilidad de obtención del bien, del servicio o del contacto buscado desde un determinado espacio. El término de accesibilidad se utiliza para indicar la facilidad de acceso a un determinado lugar, por consiguiente, se valora en relación con el costo o dificultad de desplazamiento que requiere la satisfacción de las necesidades (Grijalvo, 2000). Si se desea proveer condiciones de desplazamiento y tiempo de viaje aceptable, y simultáneamente mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad, es imprescindible concebir la planificación del transporte completamente integrada a la planificación de la ciudad y sus usos de suelo (CEPAL, 2004), además la interacción entre los sistemas de transporte, las actividades y el medio ambiente, es un elemento clave para el desarrollo económico y productivo de una región, que al aumentar ocasiona directamente un mayor número de usuarios no motorizados (Gakenheimer, 1998).

En la planificación de transporte, analizar la facilidad de desplazamiento entre un origen hacia un destino permite plantear alternativas que contribuyan al mejoramiento de la movilidad en la ciudad, por lo que identificar las variables que influyen en el comportamiento de los sistemas de transporte, puede explicar en gran medida la situación actual referente a los procesos de movilidad, en particular con el sistema de autobús de tránsito rápido (BRT) y las motocicletas.

Un aspecto de singular relevancia es la determinación del tipo de relación que existe entre los sistemas de transporte y el territorio, por lo que este proyecto analizó desde la perspectiva de la accesibilidad, el sistema de autobús de tránsito rápido y las motocicletas en la ciudad de Santiago de Cali, con el fin de realizar un diagnóstico mediante la aplicación de indicadores de accesibilidad que se enmarcan en componentes espaciales y de transporte medidos por la velocidad, el tiempo de viaje y la distancia (Parras, M & Gómez, E, 2015). Considerando las variables mencionadas anteriormente, se hace referencia a los indicadores de accesibilidad, que permiten estudiar la distribución espacial de oportunidades, utilizando estadística descriptiva, para la representación dinámica de la información aplicando los SIG de forma genérica (Seguí & Martínez, 2004).

En este documento, las secciones 2,3,4 abordan la contextualización del problema; sección 5 el marco teórico y referencial del trabajo; sección 6 la metodología basada en medidas y componentes de la accesibilidad; la sección 7, 8 resultados y validación de los indicadores de accesibilidad y finalmente las secciones 9,10 las conclusiones y recomendaciones.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Santiago de Cali como ciudad y centro de desarrollo económico, está influenciada por el contacto, la regulación, el intercambio y la comunicación, que constituyen la esencia de su funcionamiento para que pueda desarrollarse la interacción entre los ciudadanos a través de sus actividades. Actualmente la ciudad ha presentado dificultades en lo que se refiere a los procesos de movilidad, las cuales se asocian al mal estado de las vías, problemas medioambientales, seguridad vial, el poco espacio para transitar, entre otros (Cámara de comercio de Cali, 2012), esto ha generado una gran preocupación en encontrar alternativas que ayuden a desarrollar un modelo de ciudad sostenible mediante prácticas de movilidad responsable, como desplazarse en medios de transporte no motorizado u optar por el sistema de transporte colectivo (BRT), para lo cual estas alternativas deben brindar buenos niveles de accesibilidad entre los diferentes núcleos poblados (Comisión Europea, 1999), de tal forma que todos los habitantes de un territorio dispongan de las condiciones necesarias para acceder de manera equivalente al servicio de transporte.

La ciudad cuenta desde septiembre del 2008 con el sistema masivo integrado de occidente (MIO), este sistema opera desde marzo del 2009 con buses articulados, padrones y complementarios. En su funcionamiento aún no moviliza los pasajeros necesarios para garantizar una entrada de recursos suficientes que permita mejorar su operación, actualmente mueve solo 517.736 pasajeros diarios que equivale al 54% de los pasajeros que se espera (Metrocali, 2015); por el contrario, se ha generado un crecimiento de la adquisición de motocicletas, que incrementó para el año 2015 en un 194,8% respecto a los últimos 11 años (2005-2015), siendo este el vehículo con mayor aumento en el parque automotor. En Cali, incluyendo las motocicletas matriculadas en otros municipios hay 450.000 motocicletas, superando las cifras registradas en ciudades como Pereira, Manizales, Cartagena, Bogotá y Barranquilla (Cali como vamos, 2016), lo que conlleva a un aumento en los índices de accidentalidad (Kopits & Cropper, 2005; Bishai et al., 2006), que constituye uno de los problemas de salud pública a nivel municipal, ya que es una de las principales causas de muerte en la ciudad, donde en el año 2016 se registraron 15.043 accidentes, de los cuales 319 fueron mortales, donde 124 víctimas eran motociclistas (Boletín anual de eventos de tránsito 2016); adicionalmente, los hechos estilizados muestran que por cada 1.8 automóviles en la ciudad hay una motocicleta, de tal manera que las motos representaban el 33.2 % del parque automotor de la ciudad en 2015.

En los resultados de la última encuesta de percepción ciudadana de Cali cómo vamos, arrojaron que el 30% de las personas se movilizan en transporte privado (automóvil y motocicleta) y el 37% hacen uso del Sistema Integrado de Transporte Masivo (Calicomovamos, 2015), es por esto, que estudiar el comportamiento del autobús de tránsito rápido (BRT) y las motocicletas, es necesario para tratar de entender desde la perspectiva de la accesibilidad, el transporte que se presenta en Cali. Aunque las entidades de planeación municipal han desarrollado diferentes propuestas tratando de mejorar la situación actual de movilidad, de las cuales no se han evidenciado mayores resultados (Revista Semana 2016), por lo que este documento tiene por objeto brindar un análisis comparativo de la

dinámica de la accesibilidad del BRT y las motocicletas. Lo anterior permite plantear la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la facilidad de desplazamiento desde un origen hacia un destino, considerando el comportamiento del sistema de autobús de tránsito rápido (BRT) y las motocicletas?

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento del sistema de autobús de tránsito rápido (BRT) y las motocicletas desde la perspectiva de la accesibilidad.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los sistemas de transporte a partir de la información recopilada.
- Establecer los indicadores de accesibilidad de acuerdo a las variables identificadas.
- Realizar un análisis comparativo a partir del cálculo de los niveles de accesibilidad.
- Brindar información estructurada, científica y caracterizada de los sistemas de transporte estudiados.

4. JUSTIFICACIÓN

El análisis obtenido, permitió analizar el comportamiento del sistema de autobús de tránsito rápido (BRT) y las motocicletas desde la perspectiva de la accesibilidad, generando información estructurada, científica y caracterizada, que, a su vez, tangencialmente, consideró el aumento de los índices de accidentalidad a causa del incremento en el uso de las motocicletas. La realización de este proyecto fue importante porque aporta información real y confiable referente a la movilidad relacionada a éstos medios de transporte contribuyendo a los procesos de planeación de la ciudad, ya que en la medida en que los recursos disponibles para el desarrollo de las actividades humanas son escasos, hace necesaria la optimización de su uso para cubrir la demanda, dentro del principio de equidad.

Es conveniente para las entidades de planeación de orden municipal y nacional, METROCALI S.A y la industria de motocicletas, contar con este tipo de proyectos considerando que se convierten en

una herramienta útil, para la evaluación de los sistemas de transporte analizados, teniendo en cuenta las características de cada núcleo poblado.

5. MARCO DE REFERENCIA

El proyecto se ubica dentro de la planificación de transporte, específicamente en el ámbito de la accesibilidad. En este contexto, usamos en el desarrollo del mismo un conjunto de conceptos básicos que se definen a continuación.

5.1. MARCO CONCEPTUAL

5.1.1. Accesibilidad

Es un espacio metodológico comprendido dentro de unos límites, susceptibles de cambios, en el que se encuadran las diferentes mejoras para suprimir las barreras existentes, es decir son todos aquellos campos de actuación en los que la accesibilidad es, o debe ser, relevante.

5.1.2. Autobús de tránsito rápido (BRT)

El Sistema de Autobuses de Tránsito Rápido (BRT, por sus siglas en inglés de Bus Rapid Transit) es un sistema de alta calidad basado en buses que proporcionan movilidad urbana rápida, cómoda y de relación favorable costo-beneficio a través de la provisión de infraestructura de carriles segregados, operación rápida y frecuente y excelencia en mercadeo y servicio al cliente. El BRT esencialmente emula las características de desempeño y amenidad de un sistema moderno basado en rieles, pero a una fracción del costo. El término BRT ha surgido de su aplicación en América del Norte y Europa. No obstante, el mismo concepto ha sido implantado alrededor del mundo a través de distintos nombres, incluyendo: Sistemas de Bus de Alta Capacidad (High-Capacity Bus Systems), Sistemas de Bus de Alta Calidad (High-Quality Bus Systems), Metro-Bus, Metro de Superficie, Sistemas Expresos de Buses (Express Bus Systems), y Sistemas de carril segregado (Busway Systems). Aunque los términos pueden variar entre países, se sigue una misma premisa básica: un servicio de alta calidad de transporte público, competitivo con los automóviles a un costo asequible.

5.1.3. Motocicleta

Medio de transporte de dos ruedas impulsado por un motor de combustión interna a gasolina, el cuadro y las ruedas constituyen la estructura fundamental del vehículo, la rueda directriz es la delantera y la rueda motriz es la trasera. Las motocicletas pueden transportar hasta dos personas, tres si están dotadas.

5.1.4. Movilidad urbana y cohesión social

Los ciudadanos disponen de un amplio abanico de sistemas de transporte y modos para desplazarse, pero determinados atributos socioeconómicos y capacidades físicas e intelectuales, limitan las posibilidades de los individuos para utilizarlos, lo que puede resultar una fuente de desigualdad.

5.1.5. Planificación de transporte

Se define como un proceso que estudia demandas presentes y futuras de movilidad de personas y material. Estos proyectos están precedidos por estudios de movimientos y necesariamente involucran a los diferentes medios de transporte.

5.1.6. Área urbana

Los rasgos característicos del espacio urbano son su mayor población, su alta densidad de población, su extensión y su mayor dotación de todo tipo de infraestructuras; pero sobre todo la particularidad de las funciones urbanas, especialmente las económicas, concentrándose la actividad y el empleo en los sectores secundario y terciario, siendo insignificante el primario. El espacio urbano, frente a su área de influencia, es emisor de servicios de todo tipo y productos de alto valor añadido; mientras que es atractor de población y recursos de otro tipo.

5.2. MARCO TEÓRICO

Par el estudio del comportamiento del autobús de tránsito rápido (BRT) y las motocicletas desde la perspectiva de la accesibilidad, fue necesario realizar un análisis que permitiera describir y caracterizar las diferentes zonas de acuerdo a condiciones de estudio, por lo que se realizarán análisis descriptivos, exploratorio y de correlación espacial.

5.2.1. Estadística

5.2.1.1. *Medidas de tendencia central (Marco Cesar Ferreira, 2014)*

Estas medidas tienen como objetivo determinar un punto central de una distribución, a partir de las irregularidades existentes en la frecuencia de valores en cada una de las clases existentes (Marco Cesar Ferreira, 2014). Estas medidas son tres, las cuales se indican a continuación:

5.2.1.1.1. Media aritmética

Esta medida refleja el efecto de los valores extremos de la distribución. Su valor es generalmente diferente de cualquiera de la serie de datos original. Su cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde x_i es una serie de valor i de datos y n es el número total de valores de datos. Cuando se utiliza la media aritmética para el análisis de conjuntos de datos espaciales, le permite colocar cada uno de los lugares, que demuestran los valores de las variables en relación a un valor central (promedio), lo que refleja la tendencia del conjunto o una región más grande.

5.2.1.1.2. Moda

Esta medida de tendencia central tiene significa el valor más probable o más esperado en una distribución. Para evitar valores de moda con baja frecuencia, se debe trabajar con clase modal (intervalo en que los datos de distribución son más frecuentes).

5.2.1.1.3. Mediana

La mediana se haya a partir del orden ascendente de los valores de la distribución, ésta se ubica en el punto medio. Se puede calcular la mediana a partir de dos métodos: considerando los datos en forma individual, sin agruparlos y utilizando los datos agrupados en intervalos de clase.

5.2.1.2. Varianza de una variable (Moscote & Quintana, 2008).

Resulta inconveniente resumir una muestra de datos con la media y la varianza, la distribución de probabilidad de X se resume con su media y su varianza. Para los datos de muestra $x_1, x_2, \dots, x_n$, la varianza (ecuación 2) es un resumen del esparcimiento o dispersión en los datos.

$$s^2 = \sum \frac{1}{n-1} (x_1 - \bar{x})^2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde s^2 es la varianza, x es el dato de muestra, $\bar{x}$ es la media de los datos y n es el número total de datos. Esta expresión (ecuación 2) usa ponderaciones iguales de $1/(n-1)$ como factor de cada desviación cuadrada $(x_1 - \bar{x})^2$.

5.2.1.3. Distribución normal (Moscote & Quintana, 2008).

La distribución normal juega un papel importante en la estadística inferencial, pues en muestras repetidas, los estadísticos muestrales tienden a comportarse en forma de distribución normal. Para la distribución de una variable aleatoria uno de los modelos más usados es la distribución normal. Cuando se hace la repetición de un experimento aleatorio, la variable aleatoria que es igual al

resultado promedio o total en las repeticiones tiende a tener una distribución normal, cuando el número de repeticiones es grande.

5.2.1.4. Muestra de datos (Badii, M.H., et. al. 2011)

Se refiere al tamaño de datos que permite un balance adecuado entre el costo del muestreo y la precisión obtenida, evitando la sobreestimación o la subestimación, lo cual depende de tres factores: la cantidad de recurso disponible, el grado de confiabilidad y el tipo de dispersión espacial de las observaciones.

Para obtener una muestra dentro de intervalos estrechos con alta confiabilidad, se hace la estimación por intervalos cuya dimensión está determinada por la magnitud de la cantidad (ecuación 3), ya que la magnitud total del intervalo es el doble de esta cantidad. Para un determinado error estándar, el aumento de confiabilidad implica un coeficiente de confiabilidad mayor, para un error estándar fijo, y esto produce un intervalo de mayor dimensión, por el contrario, si se fija el coeficiente de confiabilidad, la única forma de reducir la dimensión del intervalo es la reducción del error estándar.

$$d = z * \text{error estándar} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde d es la dimensión del intervalo, z es el coeficiente de confiabilidad y el *error estándar* (ecuación 4), donde es la constante de desviación y n es la muestra.

$$\text{error estándar} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Para el cálculo de una muestra se debe considerar la población con la que se va a trabajar, es decir, si es una cantidad infinita o finita. Lo anterior define el cálculo de la muestra, en el caso de la población infinita (ecuación 5) se omite la corrección para poblaciones finitas, para estas últimas (ecuación 6) con la característica de ser poblaciones pequeñas.

$$n = \frac{z^2 \sigma^2}{d^2} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$n = \frac{Nz^2 \sigma^2}{d^2(N-1) + z^2 \sigma^2} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde

z = constante de confiabilidad para un intervalo de confianza determinado.

N = número total de la población

σ = constante de desviación.

d = dimensión del intervalo.

5.2.1.4.1. Muestreo de una proporción (Badii, M.H., et. al. 2011)

Cuando se requiere estimar la proporción de una población, se tiene en cuenta el hecho de que la mitad del intervalo deseado d , se puede igualar al producto del coeficiente de confiabilidad y el error estándar. Se supone que el muestreo ha sido tomado de manera aleatoria y que existen condiciones que garanticen que la distribución de p sea aproximadamente normal, de donde se obtiene la siguiente fórmula para n (ecuación 7) de una población infinita y n (ecuación 8), para una población finita.

$$n = \frac{Z^2 p * q}{d^2} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$n = \frac{N * Z^2 p * q}{d^2 (N - 1) + Z^2 p * q} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde

z = constante de confiabilidad para un intervalo de confianza determinado.

p = Proporción de ocurrencia del evento.

$q = 1 - p$ = Proporción de no ocurrencia del evento.

d = dimensión del intervalo.

5.2.1.5. Estimación de nuevas observaciones

Una aplicación importante de los modelos de regresión es predecir observaciones nuevas o futuras Y , que correspondan a un nivel especificado de la variable de regresión x . Si x_0 es el valor de la variable de regresión de interés, entonces es el estimador puntual del valor nuevo o futuro de la respuesta Y_0 .

$$\hat{Y}_0 = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_0 \quad (\text{Ecuación 9})$$

Sea Y_0 la observación futura para $x = x_0$, y sea que $\hat{Y}_0$ dada por la ecuación 3, sea el estimador de Y_0 . El error de la estimación (Ecuación 10) es una variable aleatoria con una distribución normal con media cero y varianza.

$$\psi = Y_0 - \hat{Y}_0 \quad (\text{Ecuación 10})$$

5.2.1.6. Coeficiente de determinación (R^2) (Montgomery, D. y Runger, G) (2005)

A la cantidad (Ecuación 11) se le llama el coeficiente de determinación y se usa con frecuencia para juzgar la adecuación de un modelo de regresión. Más adelante se verá que en el caso en que X y Y son variables aleatoria con una distribución conjunta, R^2 es el cuadrado del coeficiente de correlación entre X y Y .

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \quad (\text{Ecuación 11})$$

5.2.2. Accesibilidad

La accesibilidad es el grado en el que todas las personas pueden desplazarse de un lugar a otro, independientemente de las posibles limitaciones funcionales que puedan tener.

5.2.2.1. Accesibilidad relativa (a_{ij}) (Izquierdo et al., 1991)

Mide la calidad de conexión entre dos puntos situados en el mismo territorio.



Ilustración 1. Accesibilidad relativa

Fuente: (Monzón, 1998).

5.2.2.2. Accesibilidad integral (A_i) (Izquierdo et al., 1994)

Mide el grado de interconexión de un nodo, con los demás de la misma zona.

$$A_i = \sum_j a_{ij} \quad \text{(Ecuación 12)}$$

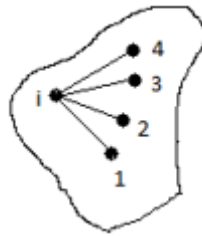


Ilustración 2. Accesibilidad integral

Fuente: (Monzón, 1998).

5.2.2.3. Accesibilidad global (A)

Es representativa del grado de conexión de toda la red y refleja el efecto sobre ella de cualquier actuación.

$$A = \sum_i A_i \quad \text{(Ecuación 13)}$$

Donde A_i es la accesibilidad integral y A es la suma de las accesibilidades integrales de todos los nodos de la zona de estudio. La accesibilidad relativa e integral permite establecer comparaciones entre puntos del área en estudio y sacar conclusiones en ese ámbito. Un estudio de operación y accesibilidad permite evaluar las mejoras que aportan las infraestructuras de transporte que se prevén construir.

5.2.2.4. Medidas topológicas

Solo se consideran la red de transportes de la zona de estudio, es decir, no entran en consideraciones de tipo social o económico, sino sólo las relativas a la red y su continuidad en el espacio.

5.2.2.4.1. Indicador topológico relativo al coste (Barea & Martínez 2002)

Uno de los más utilizados también llamado factor de ruta, en este se compara la conexión entre nodos a través de la red respecto a la distancia mínima en línea recta.

$$a_{ij} = \frac{d_{ij}}{d_{rij}} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde a_{ij} es el factor de ruta entre los puntos i y j ; d_{ij} es la distancia mínima por la red de comunicación entre i y j ; d_{rij} es la distancia en línea recta entre i y j .

Como variaciones del factor de ruta se encuentran diversos indicadores como es el índice de trazado de velocidad (Izquierdo et al., 1991) en donde las distancias son sustituidas por tiempos, utilizando como denominador el tiempo de recorrido de la distancia en línea recta entre los dos nodos a una velocidad media.

$$Itv_{ij} = \frac{t_{ij}}{t_{ij}^0} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde el dato del numerador será el tiempo real, es decir, el tiempo de recorrido por la red y el dato del denominador será el tiempo ficticio, es decir, asumiendo una distancia en línea recta.

5.2.2.4.2. Índice de Shimbel

La matriz de distancia se emplea para los modelos de planificación de transporte. A partir de estos valores se construye la matriz de Shimbel para mostrar la cantidad de arcos a atravesar para ir desde un nodo a todos los demás del grafo, generando una diagonal de ceros que indica, que la distancia entre el mismo nodo es cero.

Este índice representa el número de arcos que es necesario cruzar desde un nodo a los demás por el tramo más corto, donde es más accesible el nodo que presente el índice más bajo, el cual se obtiene sumando las distancias topológicas entre cada uno de los nodos, el índice Shimbel constituye la medida de accesibilidad absoluta.

Obteniéndose así de la sumatoria del número de arcos que separa estos nodos:

$$Shimbel = \sum d_{xy} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde la Σ , representa el grado de dispersión de la red y d representa el número de arcos que separa los nodos x , por el tramo más corto. La ecuación 17 representa a centralidad topológica media de la red.

$$I_c = \frac{\text{Shimbel}}{(n-1)} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde I_c es la centralidad topológica y n es el total de barrios.

5.2.2.4.3. Densidades

Este índice proporciona información cuantitativa en términos de longitud en km de la red vial por área y está representada de la siguiente manera:

$$I_s = \frac{L}{S} \quad (\text{Ecuación 18})$$

Siendo L la longitud dada en km de la red vial y S la superficie (km^2) de la zona de estudio de interés.

A partir de éste índice se puede deducir el desarrollo de una ciudad en cuanto a configuración vial se refiere, dependiendo la cantidad de kilómetros con las que cuente dicha área.

5.2.2.4.4. Isócronas

Siendo las isócronas una herramienta que permite unir puntos de igual valor que permite por medio de la interpolación asignar valores a una determinada área, es decir, a partir de valores conocidos aproximarse a valores desconocidos.

Mediante el uso de las isócronas se muestra la variación espacial de un fenómeno en un territorio, su dinámica y características, por medio de los umbrales de cambio. Existen variedad de isolineas, en este caso, las isócronas se emplean como herramienta de representación de geografía humana o social (Madrid, A & Ortiz, L. 2015).

5.2.2.5. Medidas agregadas (Barea y Martínez, 2002)

Los indicadores agregados tienen en cuenta, además de la simple red de transporte, el grado de importancia de cada nodo a través de la cuantificación de la población, actividad económica, etc.

5.2.2.5.1. Indicador agregado relativo al coste

Entre los indicadores más habituales se encuentran los de gravedad (Ecuación 19) para la accesibilidad relativa.

$$a_{ij} = \frac{Pot_i * Act_j}{t_{ij}^b} \quad (\text{Ecuación 19})$$

Donde Pot_i es el potencial de generación de la zona i ; Act_j es el potencial de atracción (cuantificación de la actividad) en la zona j ; t_{ij} es el tiempo de viaje, coste o distancia entre los nodos i y j ; b es el factor descriptor del efecto del tipo de actividad sobre la distancia entre i y j .

La representación del potencial de la zona de origen i es la población interesada en trasladarse hasta j ya sea para trabajo, estudio, salud, compras, recreación, entre otros, según el tipo de análisis que se desee.

5.2.2.5.2. Gravitacionales (Izquierdo, 1994)

En los métodos de interacción espacial, los indicadores de gravedad permiten relacionar los valores poblacionales de cada entidad con la distancia real entre los barrios.

$$a_{ij} = \sum \frac{Pot_i * Act_j}{t_{ij}^b} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde Pot es el potencial de generación de la zona i , Act es el potencial de atracción de la zona j , t es el tiempo, coste o distancia entre los nodos i y j y b es el factor descriptor del efecto del tipo de actividad sobre la distancia entre los nodos i y j .

5.2.2.5.3. Accesibilidad Ideal

Corresponde a la distancia recta entre dos nodos. Esta medida será igual para ambos medios de transporte (ecuación 21).

$$AI_i = \sum_{j=1}^n di_{ij} \quad (\text{Ecuación 21})$$

La accesibilidad ideal (AI_i) es para el sitio i , di_{ij} es la distancia ideal entre el sitio i y cada uno de los sitios j del área de estudio.

5.2.2.5.4. Accesibilidad real:

Corresponde a la distancia por red entre dos nodos. Esta medida depende de cada medio de transporte (ecuación 22).

$$AR_i = \sum_{j=1}^n dr_{ij} \quad (\text{Ecuación 22})$$

La formulación para la accesibilidad real (AR_i) tiene las mismas propiedades que la formulación mostrada para accesibilidad ideal, con la diferencia de considerar las distancias reales (dr_{ij}), entre los lugares $i - j$, medidas sobre la infraestructura existente.

5.2.2.5.5. Índice de Suficiencia Vial – Índice de Engel

Este índice (ecuación 23) es una variación del índice de densidad vial, indicando el nivel de servicio de la red, donde se combina la densidad vial con su respectiva población. En este índice a menor valor obtenido, menor capacidad de infraestructura vial o zonas relativamente saturadas; a mayores valores mayor capacidad de garantizar la circulación o intercambio de bienes de acuerdo a la población y superficie involucrada.

$$I_E = \frac{KmV}{\sqrt{A * P}} * 100 \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde I_E es el índice de Engel, KmV es la longitud vial en kilómetros, A es el área y P es la población.

Se sugiere clasificar en 3 a 5 intervalos de clase:

- Zonas con infraestructura saturada (valores más bajos)
- Zonas con infraestructura vial relativamente saturada (valores medios)
- Zonas sin saturación de infraestructura vial (valores altos)

5.2.2.6. Medidas desagregadas

Tienen en cuenta las posibilidades de movilidad de un individuo a través del sistema de transportes, y su relación con los posibles destinos que contribuyen a desarrollar una actividad, teniendo en cuenta la potencialidad u oportunidades que se ponen a su alcance. Aportan, por tanto, un enfoque microeconómico mediante el que se refleja la aportación del transporte al bienestar.

5.2.3. Componentes de la accesibilidad (Geurs & Van Wee, 2004).

La accesibilidad se debe entender en dos niveles, uno de dimensión analítica, el cual nos permite incorporar las diferencias temporales y territoriales existentes, abarcando tres esferas: la espacial, la social y la temporal. Por otra parte, el nivel operacional está constituido por componentes como el uso de suelo, el transporte, los arcos temporales y el individuo.

5.2.3.1. Transporte

Se describe el sistema de transporte, expresado como la falta de utilidad para una persona para cubrir la distancia entre un origen y un destino usando un modo específico de transporte; se incluyen la cantidad de tiempo (viaje, parada y estacionamiento), costos (fijos y variables) y el

esfuerzo (fiabilidad, nivel de confort, el riesgo de accidentes, etc). Esta dificultad resulta de la confrontación entre la oferta y la demanda. El suministro de infraestructura incluye su ubicación y características como la velocidad de desplazamiento máxima, número de carriles, horarios de transporte público, entre otros.

5.2.3.2. Uso de suelo

Es en el territorio donde se refleja la accesibilidad, percibida en la interacción entre las actividades urbanas localizadas en diferentes partes, de acuerdo a las condiciones sociales, económicas y tecnológicas de los individuos. Además de su transformación a través del tiempo de acuerdo a las condiciones mencionadas.

5.2.3.3. Individuo

El individuo o un conjunto de ellos con sus características culturales y económicas. La accesibilidad muestra el número de opciones que tiene el individuo para alcanzar las actividades que satisfagan sus necesidades, de acuerdo a su condición social (edad, género, educación, salud, etc.) y económica (nivel de ingreso).

5.2.3.4. Arcos temporales

Las transformaciones provocadas por los cambios en la accesibilidad deben entenderse como procesos dinámicos, constituidos por relaciones recíprocas que interactúan, se ajustan y se modifican a través del tiempo en ritmos desiguales y desfases considerables que trascienden las generaciones y que responde a formas organizadas del comportamiento diario (Giddens, 1984). La temporalidad de la accesibilidad no sólo dependerá de los medios de transporte, sino también de la disponibilidad de las oportunidades en diferentes tiempos (horarios y días de apertura de los establecimientos comerciales, laborales, recreacionales, etc.-) y del tiempo disponible de cada individuo para participar en actividades que sean de su interés.

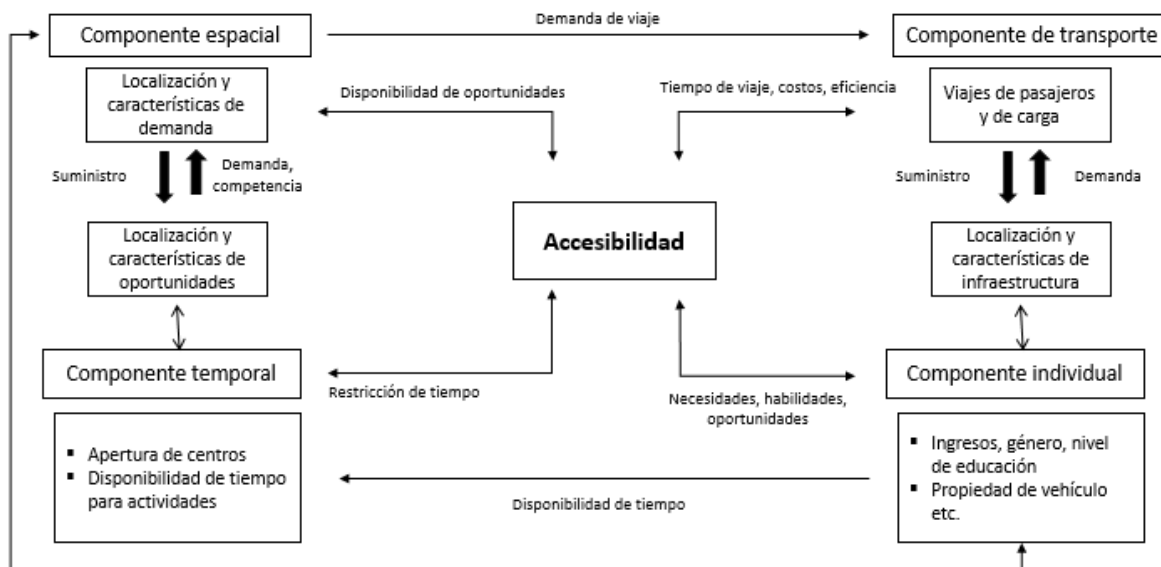


Ilustración 3. Relación entre accesibilidad y sus componentes.

Fuente: (Geurs y van Eck, 2001).

5.3. ESTADO DEL ARTE

Siendo el transporte un desplazamiento de elementos materiales, mediante un sistema móvil soportado por una infraestructura siguiendo un trayecto o ruta desde un origen hacia un destino (Seguí, Petrus, 1991), se encuentra ligado a la accesibilidad espacial, la conexión con el sistema productivo y la propia actividad productiva (Segado, García & Rosique, 1996), establecidas como funciones básicas. Las redes de transporte constituyen el sistema arterial de la organización regional, vienen definidas por la estructura de la relación entre dos nodos que forman parte de la red (Seguí & Martínez, 2004).

Dentro de la dinámica del transporte se encuentran la dimensión espacial entendida como el territorio que se encuentra relacionado con los mapas mentales y éstos reflejan la influencia de numerosos factores específicos vinculados entre sí, como son, la utilidad del lugar, el estilo de vida, el sistema de valores o la situación geográfica, en el comportamiento de los individuos; lo anterior repercute en la estructura del viaje, así como en la elección del medio de transporte y la ruta. Es importante considerar en la planificación del transporte, la capacidad que posee un lugar para ser alcanzado desde lugares con diferentes localizaciones geográficas (Seguí & Martínez, 2003), es decir, tener en cuenta la accesibilidad, de tal forma que el individuo pueda desplazarse de un lugar a otra con la menor cantidad de obstáculos posibles.

Respecto a la accesibilidad no existe ninguna medida que incluya todos los criterios (Vanderbulcke, Steenberghen, Thomas, 2009), es decir, no tiene en cuenta todos los componentes relacionado con ésta. Algunos autores han desarrollado medidas de accesibilidad, considerando la infraestructura, la localización, el individuo y servicios públicos (Geurs y Van Wee, 2004), aunque algunas de estas presentan limitaciones en cuanto a su evaluación o no son suficientes para el análisis de la distribución espacial (Curl et al, 2011).

De acuerdo a los métodos Capa de Accesibilidad Estructural (SAL) y el Índice de Acceso a Pie al Transporte Público (PTWAI), propuestos por Albacete, et al., 2015, el uso de los componentes de uso del suelo y el transporte son suficientes para el análisis a desarrollar; el primer método utiliza dos medidas de accesibilidad, la diversidad de índice de actividad (Cervero & Kockelman, 1997) y una medida comparativa que emplea un clúster para categorizar. El PTWAI (Mavoa et al., 2012) fue empleado tanto para el transporte público como para el modo a pie, tratando de fomentar el no uso del vehículo, e indirectamente este método incluía un componente temporal, es decir, consideraba tiempos reales de espera y horarios.

Otro de los ámbitos en el cual se desarrolla la aplicación de la accesibilidad en el transporte público, es teniendo en cuenta los motivos de viaje con el fin de optimizar las condiciones del trayecto y de esta manera fomentar la reducción de la dependencia del automóvil (Horák, Šeděnková, Horáková 2008). La manera como se estudia el transporte ha ido evolucionando a través de los tiempos, donde se ha convertido en una de las aplicaciones de los sistemas de información geográfica SIG, desde el punto de vista de la planificación del transporte, ya que las redes se construyen sobre el territorio y sobre ellas se desplazan flujos de personas, de materia y de energía; por ejemplo, en el caso del flujo de personas se ha dado la implementación de un sistema de autobús de tránsito rápido BRT (Mejía et al., 2013) en el mundo, buscando optimizar los desplazamientos que se deben hacer para llegar a un destino deseado, por lo que se encuentran asociado a este tipo de sistemas, estrategias como los son los corredores exclusivos del mismo (Cahill, Casas, 2012). Dentro de planificación del transporte, independientemente del modo de transporte que se use (transporte público o privado), es importante establecer la velocidad (Cal y Mayor & Cárdenas.,1994) permitida para transitar, ya que esta es una variable determinante en los casos de accidentalidad vial.

Varios estudios se han adelantado con el fin de conocer la dinámica de desplazamiento desde un origen hacia un destino, algunas de las herramientas utilizadas en este tipo de estudios, es el Algoritmo de Dijkstra que se basa en la teoría de grafos (Montiel et al., 2006), donde se calcula la distancia como el costo mínimo entre dos puntos, permitiendo establecer la ruta de viaje más óptima, y el uso de isolíneas para representar la dinámica del tiempo de viaje (Madrid, A., Ortiz, L, 2015) en un territorio determinado. Este tipo de herramientas al ser integradas a un Sistema de Información Geográfica, permite la interacción entre las diferentes capas con las que se esté trabajando, ofreciendo al usuario del sistema la opción de conocer la ruta de desplazamiento a seguir.

A partir del cálculo de distancias, distintos indicadores son implementados para medir la accesibilidad donde los asentamientos urbanos son muy densos, estos indicadores se clasifican como indicadores de proximidad e indicadores simples, que basan su cálculo en la distancia euclidiana y la distancia por red, obtenida mediante la herramienta de ArcGIS Network Analyst (La Rosa, D., 2014), el cálculo de la distancia puede realizarse mediante la teoría de grafos que permite la asociación de los objetos geográficos a las redes de transporte, nodos y arcos (Cardozo, D., Gómez, E., Parras, M, 2009).

6. METODOLOGÍA

Con el fin de lograr los objetivos planteados (Ilustración 4), se identificaron las variables y procedimientos necesarios como la recolección de datos, predicción de nuevas observaciones y la representación gráfica integrada con la estadística descriptiva.

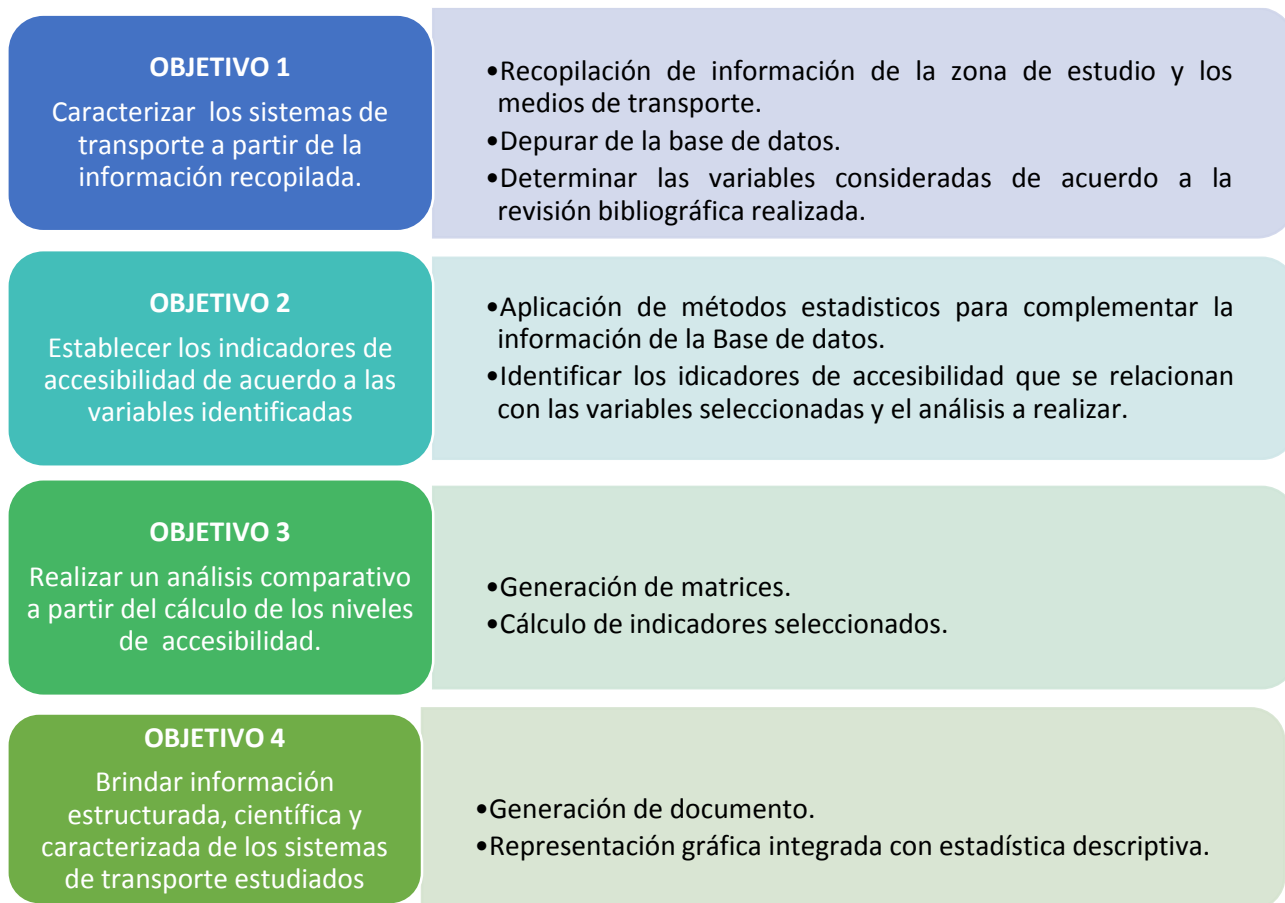


Ilustración 4. Metodología

Fuente: Elaboración propia.

6.1. Zona de estudio

Santiago de Cali (Ilustración 5), es un municipio colombiano, capital del departamento del Valle del Cauca, es la tercera ciudad más poblada de Colombia. Está situada en la región Sur del departamento entre la cordillera occidental y la cordillera central de los Andes, con coordenadas geográficas 3°26'24" N y 76°31'11" W. La ciudad forma parte del Área Metropolitana de Cali, junto con los municipios aledaños a ésta. Limita al norte con la Cumbre y Yumbo, al este con Palmira, y Candelaria, al sur con Jamundí y al oeste con Buenaventura y Dagua.

La ciudad es uno de los principales centros económicos e industriales de Colombia, además de ser el principal centro urbano, cultural, económico, industrial y agrario del suroccidente del país y el tercero a nivel nacional.



Ilustración 5. Zona de estudio.

Fuente: IDESC 2017.

Para el estudio a realizar, se consideran los 334 barrios de la ciudad como entidad espacial (La Rosa, D., 2014) para asignarle los valores correspondientes del análisis propuesto a sus respectivos centroides, de esta manera los barrios permitieron asociar a las redes de transporte, nodos y arcos conectados, ya que sus elementos pueden asociarse fácilmente a objetos geográficos mediante la teoría de grafos (Cardozo, D., Gómez, E., Parras, M., 2009).

6.2. Caracterización de medios de transporte

6.2.1. Bus de tránsito rápido (BRT)

El sistema de Autobús de Transito Rápido (BRT), es un sistema que tuvo sus inicios en la década de los 70 basándose en la propuesta de transporte que ofrecía la ciudad de Curitiba – Brasil. Desde sus inicios se planteó, un sistema con uso exclusivo de carriles, pago electrónico y paradas previamente definidas. Fue así, como durante los próximos años, fue implementado este sistema en varios países latinoamericanos como Colombia, donde en el año 2000 fue implementado en la ciudad de Bogotá siendo reconocido internacionalmente e impulsando a otros países a utilizar este sistema (Mejía et. al, 2013).

En la ciudad de Cali, en el año 2009, inició la operación de este tipo sistema, conocido como Sistema Integrado de Transporte Masivo (MIO), este fue implementado con el fin de mejorar la eficiencia y el servicio del transporte en la ciudad.

6.2.1.1. Tipología

La tipología del BRT está determinada por buses articulados, padrones y complementarios (tabla 1); el corredor troncal es de uso exclusivo del sistema y moviliza aproximadamente 60.000 pasajeros diarios, el corredor pretroncal hace referencia a las vías secundarias de la ciudad, es decir, este es utilizado por los demás medios de transporte de la ciudad, al igual que sucede con el corredor complementario, que son las vías colectoras (Cahill, Casas, 2012).

Tabla 1 Distribución de rutas.

Fuente: Metrocali, 2016. <http://mio.com.co/index.php/en/infraestructura/buses>

	Color: Azul Paradas: Sólo en las Estaciones Circulación: Corredores Troncales (SOLO BUS) Identificación rutas: Letra T (Troncal) y E (Expreso) Capacidad : 160 pasajeros.
	Color: Azul Paradas: En estaciones y en paraderos demarcados en Avenidas y Calles principales Circulación: Corredores Pretroncales Capacidad: 80 pasajeros. Identificación rutas: Letra P (Pretroncal) y A (Alimentador)
	Color: Verde Paradas: Paraderos en los barrios Circulación: Sobre corredores complementarios Identificación rutas: Letra A (Alimentador) Capacidad: 60 pasajeros

6.2.2. Motocicletas

Otro de los medios de transporte de uso masivo en la ciudad son las motocicletas, estas tienen la capacidad de transportar dos personas, entre sus características principales se encuentra su tamaño, el cual le facilita su movilidad ya que requiere menor espacio de ocupación, lo que optimiza el tiempo de viaje. La adquisición de este vehículo ha ido incrementando desde el año 2009, según el informe de Calicomovamos (abril 2016), el número de motocicletas registradas en la ciudad para el año 2014, es de 195.013, donde en promedio circularían 192 motocicletas por cada 1000 habitantes (Ilustración 6).

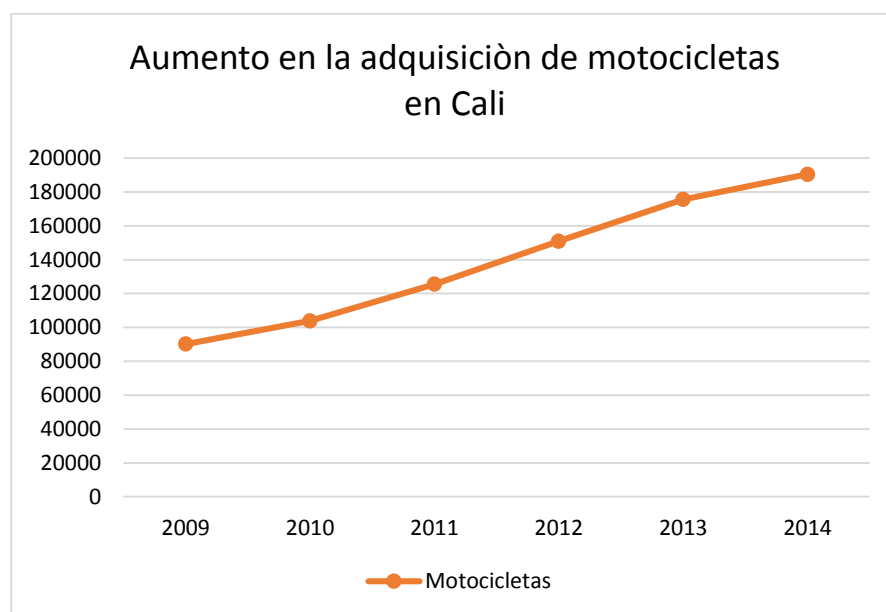


Ilustración 6. Incremento en la adquisición de motocicletas en la ciudad de Cali

Fuente: Elaboración propia

6.3. Recopilación y procesamiento de información

El análisis presentado en este trabajo se basa principalmente en los datos suministrados por fuentes secundarias como el Laboratorio de Transporte, Tránsito y Vías de la Universidad del Valle, Calicomovamos, Google Maps, Secretaría de Tránsito y Transporte de la ciudad de Cali, de los cuales se obtuvieron estudios previos, cartografía existente, documentación pertinente, entre otros. Para el desarrollo del proyecto, las características propias de la zona de estudio como lo son la red vial, la infraestructura de transporte, número de nodos de zona, lo cual dependerá de la de los tiempos de recorrido, las velocidades y la distancia.

Se tuvo en cuenta los datos relevantes para el estudio, de tal forma que la base de datos con la que se trabajó contenía información precisa de las variables de estudio que permitió analizar el

comportamiento del BRT y las motocicletas. Los datos con los que se contaba para el desarrollo del estudio corresponden a la información cartográfica de los barrios de la ciudad de la Cali y la malla vial del proyecto de inventario vial del Plan Integral de Movilidad Urbana (PIMU 2028), que cuenta con información de velocidades, de los distintos medios de transporte que interactúan en la ciudad.

6.3.1. Motocicletas

Con base en la información suministrada referente a la velocidad de los medios de transporte para vías principales y secundarias de la red vial de la ciudad, se realizó la caracterización de las vías colectoras, con el fin de obtener información más detallada del comportamiento de los vehículos en estas vías, a partir de la implementación del modelo estadístico (ecuación 24) que permitió calcular las velocidades de las motocicletas para las vías de interés analizadas en la muestra.

El procedimiento de cálculo que realiza la herramienta de Google Maps, consiste en el cálculo de distancia (km) y tiempo estimado (h) a partir de una serie de parámetros implicados, como datos históricos de las velocidades medidas en esas vías y el tráfico con información en tiempo real que afecta especialmente el tiempo estimado; con los datos obtenidos de Google Maps, se calculó la velocidad (ecuación 24), estableciendo la diferencia entre las dos medidas. Lo anterior basado en los datos proporcionados de velocidad promedio motocicletas y las velocidades de vehículos livianos en Google Maps, donde se planteó la existencia de asociación entre estas dos variables, lo que indicaría que la distribución de los valores de una de las variables difiere en función de los valores de las otras. Lo planteado anteriormente, fue necesario realizarlo ya que la herramienta de Google Maps, no cuenta con la opción de realizar la navegación en vehículo motocicleta, por lo que el cálculo de recorridos y el tiempo estimado de llegada a un destino, se hizo en vehículo liviano, carro, es decir, se realizó dicho cálculo para las vías que tienen datos de campo de velocidad, para evaluar la distribución de las velocidades y el modelo estadístico que explicará la relación entre las variables de velocidad en campo de las motocicletas y la velocidad en Google Maps del carro.

$$Velocidad (km/h) = distancia (km)/tiempo (h) \quad (\text{Ecuación 24})$$

Para la selección de la velocidad que se asignó como la velocidad de recorrido de las motocicletas, se utilizó el dato correspondiente al percentil 85, ya que se refiere a la velocidad crítica a la cual debe establecerse el límite máximo de velocidad en conexión con los dispositivos de control de tránsito que la deben restringir. De acuerdo a lo anterior, la velocidad de recorrido, correspondiente al percentil 85, es de 36.849km/h, la cual se asignó como constante para toda la red vial del sistema de transporte MIO.

6.3.1.1. Evaluación estadística

A partir de un análisis estadístico inferencial realizado en Excel de los datos de velocidad de motocicletas para las vías colectoras, obtenidos del Plan Integral de Movilidad Urbana (PIMU 2028), se determinó si los resultados del análisis descriptivo y la exploración de los datos espaciales, verifican las hipótesis establecidas en el estudio.

6.3.1.1.1. Estimación de nuevas observaciones

Mediante la ecuación 8, se procede a calcular la muestra que permitió representar mediante un modelo estadístico (ecuación 9) la relación existente entre los datos de estudio, es decir los tiempos de viaje de las motocicletas, los cuales están relacionados como lo indica el coeficiente de determinación R^2 (ecuación 11), dicha muestra fue de un total de 180 datos.

Una vez definido el modelo para el cálculo de velocidades de las motocicletas, se procede a calcular las observaciones de las vías colectoras para obtener la información requerida para el análisis espacial.

6.3.2. Autobús de Transito Rápido BRT

A partir de la totalidad de rutas a establecer entre los centroides de la ciudad con una configuración de uno a muchos, se determina una muestra significativa del total de datos, con un margen de error del 5% y a su vez un nivel de confianza del 95%. Con base en el cálculo de la muestra para proporciones poblacionales finitas (ecuación 8), se obtiene el número de muestras a considerar para que esta sea significativa.

Posteriormente mediante una selección aleatoria simple, se establecen cuáles serán las rutas a considerar en el simulador de viajes de Google Maps, de tal manera que estas rutas se encuentren distribuidas en toda la zona de estudio. Mediante Google Maps, se obtendrá el tiempo de recorrido y con las distancias obtenidas mediante la red del sistema, se calculará la velocidad de recorrido. Con el fin de disminuir el sesgo en la toma de datos, se establece un horario en el que se tomaran las muestras, este horario está definido el día miércoles entre las 6:00 am y las 8:00am por ser la hora pico de la mañana en la ciudad de Cali.

De acuerdo a la variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda, en las zonas urbanas, para una calle o intersección específica, puede llegar a ser repetitiva y consistente durante varios días de la semana. Es importante conocer la variación del volumen dentro de las horas de máxima demanda y cuantificar la duración de los flujos máximo, para así realizar la planeación de los controles del tránsito para estos periodos durante el día, tales como la prohibición de estacionamiento, prohibición de ciertos movimientos de vuelta y disposición de los tiempos de los semáforos (Cárdenas, 1994). En la ciudad de Cali, la dinámica de movilidad esta influenciada por la presencia de horas punta en la mañana, comprendida entre las 6:30am y las 9:15am, al medio día entre las 10:30am y las 2:00pm y en la tarde entre las 5:00pm y 7:30pm; el horario descrito no necesariamente significa que el flujo sea constante durante todas las horas, es decir, que existen periodos cortos dentro de las horas mencionadas, con tasas de flujo mucho mayores a las de la hora misma (Cárdenas, 1994).

Para la selección de la velocidad que se asignó como la velocidad de recorrido del sistema, se utilizó el dato correspondiente al percentil 85, ya que se refiere a la velocidad crítica a la cual debe establecerse el límite máximo de velocidad en conexión con los dispositivos de control de tránsito que la deben restringir. De acuerdo a lo anterior, la velocidad de recorrido, correspondiente al percentil 85, es de 12.72km/h, la cual se asignó como constante para toda la red vial del sistema de transporte MIO.

6.3.2.1. Evaluación estadística

A partir de un análisis estadístico realizado en Excel de los datos de distancia, tiempo y velocidad del BRT obtenida de Google Maps, se determinó si los resultados del análisis descriptivo y la exploración de los datos espaciales, verifican las hipótesis establecidas en el estudio.

6.4. Caracterización de componentes operacionales

6.4.1. Variables

Se identificaron las variables relacionadas con los indicadores de accesibilidad, ya que esta información se empleó como base para el cálculo de los mismos. La selección de estas variables se hizo de acuerdo a la información y herramientas disponibles, y teniendo en cuenta la importancia de cada uno dentro del análisis planteado para la comparación a nivel de accesibilidad de los medios de transporte.

6.4.1.1. Velocidad

La base de datos suministrada para el desarrollo del estudio, contó con información relevante de la velocidad medida en campo de los medios de transportes evaluados, es decir, el BRT y las motocicletas.

6.4.1.1.1. Motocicletas

A partir de la información de la velocidad de las motocicletas en vías primarias y secundarias del PIMU 2028 que cuenta con 702 registros de velocidades (km/h) para tres momentos de toma de datos, en la hora punta de la mañana, la tarde y la noche y con los datos de velocidad en vías colectoras obtenidos mediante la aplicación del modelo estadístico, donde se emplea el análisis de correlación estadística, donde se determinó una muestra significativa del total de los datos mediante la ecuación 8, con un margen de error del 5% y a su vez un nivel de confianza del 95%. Posteriormente con los datos de velocidad de la muestra, se selecciona la velocidad de recorrido del vehículo motocicleta.

6.4.1.1.2. BRT

Según Cal y Mayor & Cárdenas. (1994), la velocidad correspondiente al percentil 50, es utilizada como una medida de la calidad del flujo vehicular, y es aproximadamente igual a la velocidad media. El percentil 85, se refiere a la velocidad crítica a la cual debe establecerse el límite máximo de velocidad en conexión con los dispositivos del control de tránsito que la deben restringir. El percentil 15, se refiere al límite inferior de la velocidad. El percentil 98, se utiliza para establecer la velocidad de proyecto. En este caso se utilizó el dato correspondiente al percentil 85 obtenido de la muestra calculada de Google Maps de los tiempos de viaje registrados en el sistema, ya que este percentil corresponde al más representativo en cuanto a la velocidad máxima.

6.4.1.2. Distancia

Mediante la herramienta Network Analyst de ArcGIS, que se basa en el algoritmo de Dijkstra (Montiel et al., 2006), se procedió a calcular la ruta de menor costo de distancia entre los centroides de los barrios, en una relación de uno a muchos. Dentro de las restricciones requeridas por esta herramienta para el cálculo se encuentra, giros prohibidos, nivel vial como puentes y hundimientos, y el sentido vial, siendo este último, la única restricción a emplear en este cálculo. Una vez obtenidos estos valores mediante la herramienta de Network Analyst de ArcGIS, se construyó la matriz de distancias de 334 X 334, donde posteriormente se calculó el índice de Shimbél.

6.4.1.2.1. Motocicletas

Para el cálculo de la matriz de distancia de este vehículo, se utilizó la malla vial de la ciudad de Cali (Anexo 1), compuesta por todas las vías de la ciudad de jerarquía principal, secundaria, colectoras o local, obteniendo los valores correspondientes a la distancia en red entre los centroides de cada uno de los barrios.

6.4.1.2.2. BRT

Para el cálculo de la matriz de distancia del sistema BRT, se utilizó la malla vial de las rutas del MIO (Anexo 2), compuesta por los corredores troncales, pretroncales y complementarios del sistema, obteniendo los valores correspondientes a la distancia en red entre los centroides de cada uno de los barrios, teniendo en cuenta el modo de transporte motorizado y no motorizado.

6.4.1.3. *Tiempo*

El tiempo empleado para desplazarse de un lugar a otro, determina en gran medida, la facilidad de acceso a ese lugar, es por este motivo que el cálculo de esta variable fue necesario para comparar la eficiencia de cada medio de transporte.

A partir de cada uno de los procedimientos realizados para obtener la velocidad de recorrido de cada sistema de transporte y con la matriz de distancia del BRT y las motocicletas, se construyó la matriz de tiempos de desplazamiento para la ciudad de Cali.

6.4.1.4. *Población*

El censo de población de una determinada entidad territorial juega un papel fundamental en la planificación del transporte. En este estudio se analizó esta variable como el factor de oferta y demanda, de cada uno de los barrios de la ciudad de Cali, dentro del índice de gravedad.

6.4.1.5. *Estrato*

Esta variable se utilizó para el análisis estadístico del tiempo de viaje para cada medio transporte y la longitud vial del índice de densidad. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la estratificación socioeconómica es una clasificación en estratos de los inmuebles residenciales que deben recibir servicios públicos. Se realiza principalmente para cobrar de manera diferencial por estratos los servicios públicos domiciliarios permitiendo asignar subsidios y cobrar contribuciones en esta área.

En la medida en que identifica geográficamente sectores con distintas características socioeconómicas permite también: orientar la planeación de la inversión pública; realizar programas sociales como expansión y mejoramiento de infraestructura de servicios públicos y vías, salud y saneamiento, y servicios educativos y recreativos en las zonas que más lo requieran; cobrar tarifas de impuesto predial diferentes por estrato y orientar el ordenamiento territorial.

6.4.2. Indicadores de accesibilidad

De acuerdo a las variables seleccionadas, se identificaron los indicadores de accesibilidad relacionados con dichas variables, donde se establecieron cuatro indicadores que permitieron comparar la accesibilidad entre ambos medios de transporte, a continuación, se describen los indicadores seleccionados.

Para la aplicación de los índices planteados, se realizó la normalización (ecuación 25) de los datos obtenidos con el fin de obtener datos escalados estadísticamente.

$$Dato\ normalizado = \frac{Dato - Datomenor}{Datamayor - Datomenor} \quad (Ecuación\ 25)$$

6.4.2.1. *Índice de densidad vial*

Este indicador (ecuación 18) corresponde a una evaluación de la infraestructura vial de cada barrio, donde no se consideró la ponderación de las vías por jerarquización ni por el tipo de servicio, sino que se tuvo en cuenta la cantidad de kilómetros de vía con los que contaba un barrio, independientemente de su jerarquización o estado de la misma.

6.4.2.2. *Índice de Shimbél*

Por medio de la distancia entre nodos, que en este caso son los centroides de los barrios, se analizó la accesibilidad de cada barrio hacia los demás mediante las ecuaciones 16 y 17.

Los valores obtenidos en la matriz de distancia se emplearon para mostrar la cantidad de arcos a atravesar para ir desde un nodo a todos los demás del grafo. Estos valores se sumaron verticalmente y se obtuvo el índice de Shimbél para cada barrio, valor que se asoció a la base de datos y se generó la representación cartográfica.

6.4.2.3. *Índice de gravedad*

El índice de gravedad (ecuación 20) permite conocer la interacción espacial, relacionando valores de oferta, demanda y la distancia entre los barrios.

De este índice de accesibilidad de medidas desagregas, se obtuvieron valores que relacionan las variables de oferta y demanda, como lo es la población de los barrios relacionados, con el valor de distancia entre ambos nodos. Mediante este índice calculado por medio de una matriz, donde se sumaron las filas, para obtener el valor de cada correspondiente para cada barrio, se logró identificar la relación existente entre los barrios relacionados respecto a la población de estos, es decir, los valores más cercanos a 1, indican que el nivel de atracción entre ambos barrios es mayor a la distancia entre los mismos, mientras que a medida que disminuyó la atracción entre los nodos y aumentó la distancia entre ellos, los valores resultantes fueron cercanos a 0.

6.4.2.4. *Tiempo de viaje*

Se empleó las isolineas como herramienta para representar los umbrales de cambio respecto a la geografía humana o social (Madrid, A & Ortiz, L. 2015).

Para el tiempo de viaje, se emplea la información correspondiente a la distancia más corta (Shimbél) y la velocidad de desplazamiento (Percentil 85). Si bien es cierto que este último parámetro

corresponde a un valor constante para toda la red, para su cálculo se emplearon velocidades que relacionan los diferentes tipos de vías de acuerdo a su jerarquización en el caso de las motocicletas y de acuerdo al modo de vehículo (caminata, troncal, petroncal y complementario) en el caso del BRT.

6.5. Análisis

Mediante el uso de las herramientas de análisis como la estadística descriptiva y análisis exploratorio, se obtuvo información caracterizada y estructurada de los medios de transporte estudiados. Se implementó la cartografía temática como campo científico que permitirá sintetizar el tema de estudio facilitando la comunicación del tema con diversos usuarios y público en general. Lo anterior se fundamenta en el uso de las tecnologías de los SIG, donde se define una unidad espacial para la representación de la información, la cual debe contar con unos intervalos de clase para la misma representación cartográfica y así apoyar el análisis de la distribución espacial de los datos censales. En el caso de este estudio, se utilizó el método de elección de intervalos de cortes naturales, debido a que agrupa mejor los valores similares y maximiza las diferencias entre las clases, este tipo de representación se basa en la estructura formada por los datos de búsqueda de sus regularidades internas. Visualmente tiene que ver con la graficación de cada uno de los datos que conforman la variable en un gráfico de línea en orden creciente y a partir de allí, encontrar saltos naturales que pueden ser tomados como límites de los intervalos.

Con base en las herramientas cartográficas y estadísticas, se compararon los valores obtenidos en cada índice para cada medio de transporte; en el caso del índice de shimbel se compararon los resultados de cada barrio respecto a distancia y se analizaron los barrios que presentaron cambios significativos en el nivel de accesibilidad, en cuanto al índice gravedad se tuvo en cuenta la atracción que ejercía la población frente a la distancia el cual se comparó con el índice de shimbel, en el índice de densidad se realizó la comparación de los kilómetros de vía de cada barrio teniendo en cuenta la malla vial de cada transporte y como se relacionada de acuerdo a su área, y por último en cuanto al tiempo de viaje se compararon dichos tiempos de cada barrio hacia los demás.

6.6. Validación

La verificación de los resultados obtenidos mediante el análisis comparativo entre el sistema de autobús de tránsito rápido (BRT) y las motocicletas desde la perspectiva de la accesibilidad, se realizó mediante el análisis de la matriz de coeficientes de correlación de los indicadores de accesibilidad calculados en este trabajo, lo anterior se obtuvo mediante la herramienta de GeoDa.

7. RESULTADOS

7.1. Recopilación de información

7.1.1. Motocicletas

Con base en la metodología planteada para el cálculo de las velocidades en las vías colectoras (tabla 2) de la ciudad de Cali para el medio de transporte motocicletas, permitió evaluar la distribución de las mismas y establecer que estas representaban una distribución normal.

Tabla 2. Fragmento de distribución normal de velocidades de motocicletas vs carro.

Fuente: Elaboración propia.

Datos generales							
Datos de campo		Datos de Google Maps			Diferencia de velocidades		
id	Moto (HPM)	Distancia	Tiempo	Velocidad(km/h)	Diferencia	Dif*1000	Distribución normal
1	16,670	1,800	0,083	21,600	-4,930	-4930,000	0,020
2	47,530	1,000	0,033	30,000	17,530	17530,000	0,018
3	45,900	0,550	0,017	33,000	12,900	12900,000	0,021
4	28,870	1,700	0,150	11,333	17,537	17536,667	0,018
5	15,720	2,000	0,100	20,000	-4,280	-4280,000	0,021
6	26,710	2,000	0,100	20,000	6,710	6710,000	0,024
7	45,850	1,200	0,083	14,400	31,450	31450,000	0,007
8	32,320	1,200	0,050	24,000	8,320	8320,000	0,024
9	36,710	0,600	0,100	6,000	30,710	30710,000	0,007
10	33,470	0,650	0,017	39,000	-5,530	-5530,000	0,020

Con el gráfico de la distribución normal (Ilustración 7), se realiza la selección de los valores que se encuentran en mayor concentración en dicha distribución y se usaron como datos de muestra para establecer el modelo y el coeficiente de correlación entre las dos medidas.

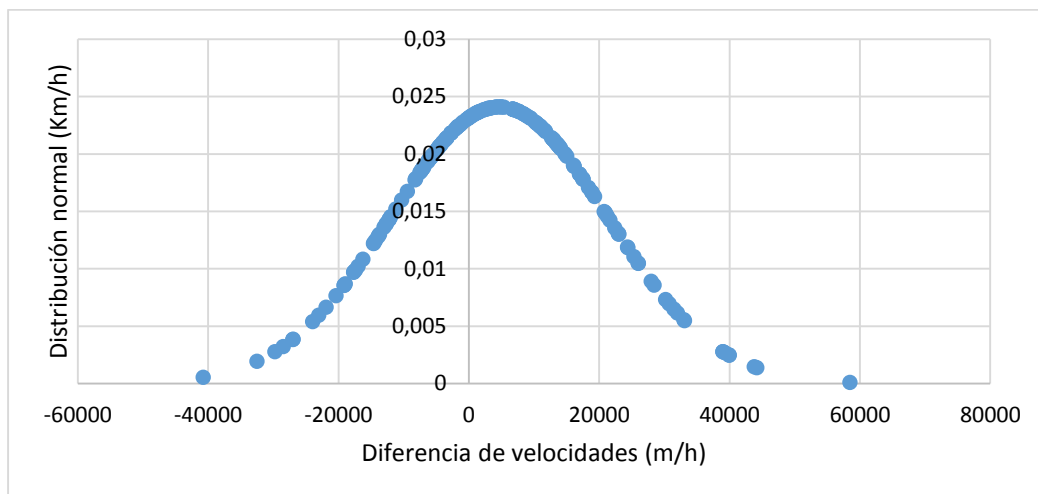


Ilustración 7. Distribución normal de la diferencia de velocidades (moto (campo) vs carro (Google Maps)).

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo la relación entre las variables de velocidad de motocicletas (datos de campo) y la velocidad en carro (datos de Google Maps), con un coeficiente de correlación del 0,687 (Ilustración 8), lo que indica que las velocidades resultantes para las vías colectoras, tendrán una variación del 68,7 % respecto a las velocidades en carro obtenidas para las mismas vías.

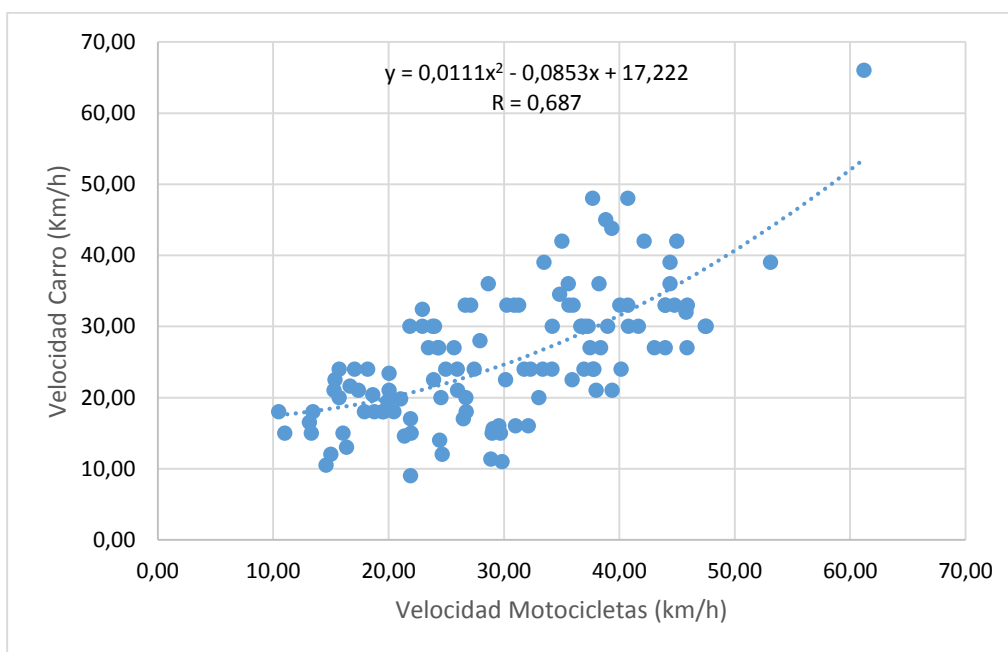


Ilustración 8. Relación de velocidad de Google Maps de vehículos livianos y velocidad de campo de motocicletas.

Fuente: Elaboración propia.

7.1.1.1. Velocidad de motocicletas en vías colectoras

La estimación de la velocidad en moto de las vías colectoras, se realizó a partir del modelo estadístico (Ecuación 26) obtenido de la relación de velocidad moto y velocidad carro.

$$y = 0,0111x^2 - 0,0853x + 17,222 \quad (\text{Ecuación 26})$$

Donde y es la velocidad de la moto en vías colectoras, x es la velocidad de los carros en vías colectoras tomada en Google Maps.

7.1.1.2. Velocidad de la malla vial de las motocicletas

Posterior al procedimiento anterior donde se obtuvieron datos de velocidad para complementar la información que se tenía, se empleó el concepto de Cárdenas (1994), para seleccionar el valor correspondiente a la velocidad del percentil 85, que corresponde a 36.849 km/h, con éste se determinó el tiempo de recorrido mediante la malla vial de este sistema de transporte.

7.1.2. BRT

Tal como se mencionó en la metodología, el cálculo de la muestra se realizó mediante la ecuación 10, donde se obtuvo que la muestra significativa del total de rutas, equivale a 383 rutas, las cuales se seleccionaron aleatoriamente entre todos los datos. Posteriormente mediante la herramienta de Google Maps se procedió a calcular las rutas establecidas en el horario de 6:00am a 8:00am el día miércoles (Ilustración 9) de acuerdo a lo planteado anteriormente por Cárdenas (1994), obteniendo los datos de tiempo de recorrido, es importante mencionar que para ir de un origen hacia un destino mediante el sistema MIO, se presentaron en algunos casos, varias opciones de viaje, donde se optó por la ruta que requería menor inversión de tiempo.

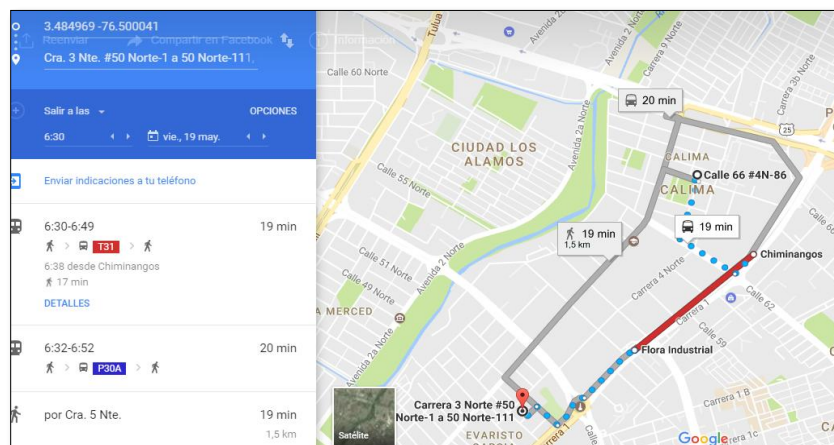


Ilustración 9. Procedimiento de ruteo en Google Maps para el BRT.

Fuente: Google Maps

7.2. Análisis y resultados de indicadores de accesibilidad

7.2.1. Índice de Densidad

La densidad vial en cada barrio representa la proporción de kilómetros lineales de vías por Km^2 (anexo 4 y anexo 5). Lo anterior permitió analizar la accesibilidad de cada barrio respecto al desarrollo en infraestructuras. Los barrios representados cartográficamente como accesibilidad alta, indican que existe un equilibrio en cuanto a kilómetros de vía por Km^2 , permitiendo que conecten mejor con otros barrios a lo largo de la ciudad; lo contrario sucede con los barrios de accesibilidad baja, que muestran una infraestructura menos densa respecto a su área.

Siendo la densidad vial un factor influyente en el desarrollo socio económico de una ciudad, se observa que en Cali esta infraestructura no está distribuida equitativamente, como es el caso, de la red del sistema de autobús de tránsito rápido (BRT), que a pesar de hacer uso de la infraestructura mixta de la ciudad, mediante sus buses padrones y complementarios, hay barrios en los que esta no es la más adecuada, lo que dificulta el acceso del sistema a éstos, generando que el desplazamiento de la población que habita en estos barrios no cuente con un buen nivel de accesibilidad.

Como se observa en la Ilustración 10 entre el 5,39% y 11,08% de los barrios de la ciudad de Cali se encuentra con una densidad vial de BRT y motocicletas que cuenta con una configuración vial acorde al área que abarca; respecto al nivel de accesibilidad media-alta corresponde a un 14,97% y 27,25% respectivamente, en cuanto a la accesibilidad media, se tiene que en el medio de transporte BRT es el nivel de accesibilidad más común en la ciudad, mientras que en el medio de transporte de motocicletas el nivel de accesibilidad media-alta es la más común, por otra parte el nivel de accesibilidad baja corresponde a un 10,48% para las motocicletas y un 18,26% para el BRT, siendo estos los barrios más afectados por carencia de infraestructura vial.

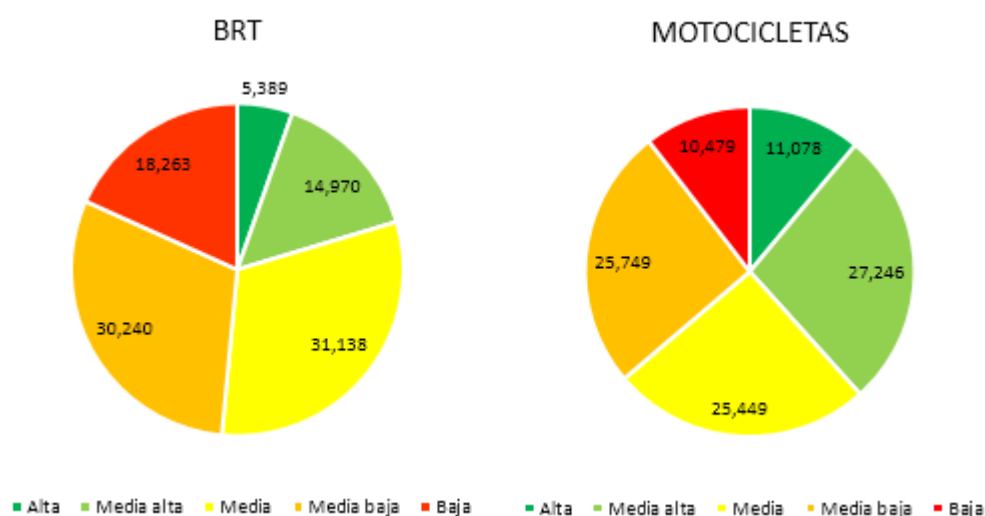


Ilustración 10. Estadística índice de Densidad.

Fuente: Elaboración propia

Los barrios que se encuentran por encima de la accesibilidad media del índice se consideran con accesibilidad alta en cuanto a la capacidad de respuesta de la infraestructura vial con la que cuentan, a mayor accesibilidad en el índice de densidad, mayor capacidad de garantizar el desplazamiento de determinada población, en la superficie del área evaluada, como es el caso de los barrios La Gran Colombia, Julio Rincón, Santa Mónica Belalcázar, Santa Bárbara, El Nacional, Saavedra Galindo, Centenario y Versalles, para el medio de transporte BRT, y los barrios Nápoles, Desepaz Invicali y San Pedro Claver, para el medio de transporte motocicleta; en el caso del barrio Santa Bárbara identificado como uno de los de mejor accesibilidad en cuanto a infraestructura del BRT, presento condición contraria con la infraestructura de las motocicletas, ya que registra como un valor extremo hacia el nivel de accesibilidad baja (ilustración 11,12).

Este indicador, además aporta datos que permiten evaluar la equidad respecto a la movilidad considerando el nivel de accesibilidad de cada barrio, siendo importante indicar que mediante el índice de densidad no se puede evaluar el estado de la red vial ni las características de cada vía.

Con relación al estrato socioeconómico (Anexo 3) se obtuvo que el índice de densidad presentó una mayor accesibilidad para el estrato 3 en ambos medios de transporte seguido por el estrato 2, mientras que en los demás estratos socioeconómicos la accesibilidad disminuye, lo anterior presenta un comportamiento de crecimiento hasta el estrato 3, es decir, que para el estrato 4 la densidad vial presento un decrecimiento notable, el cual mantuvo su tendencia para los demás estratos.

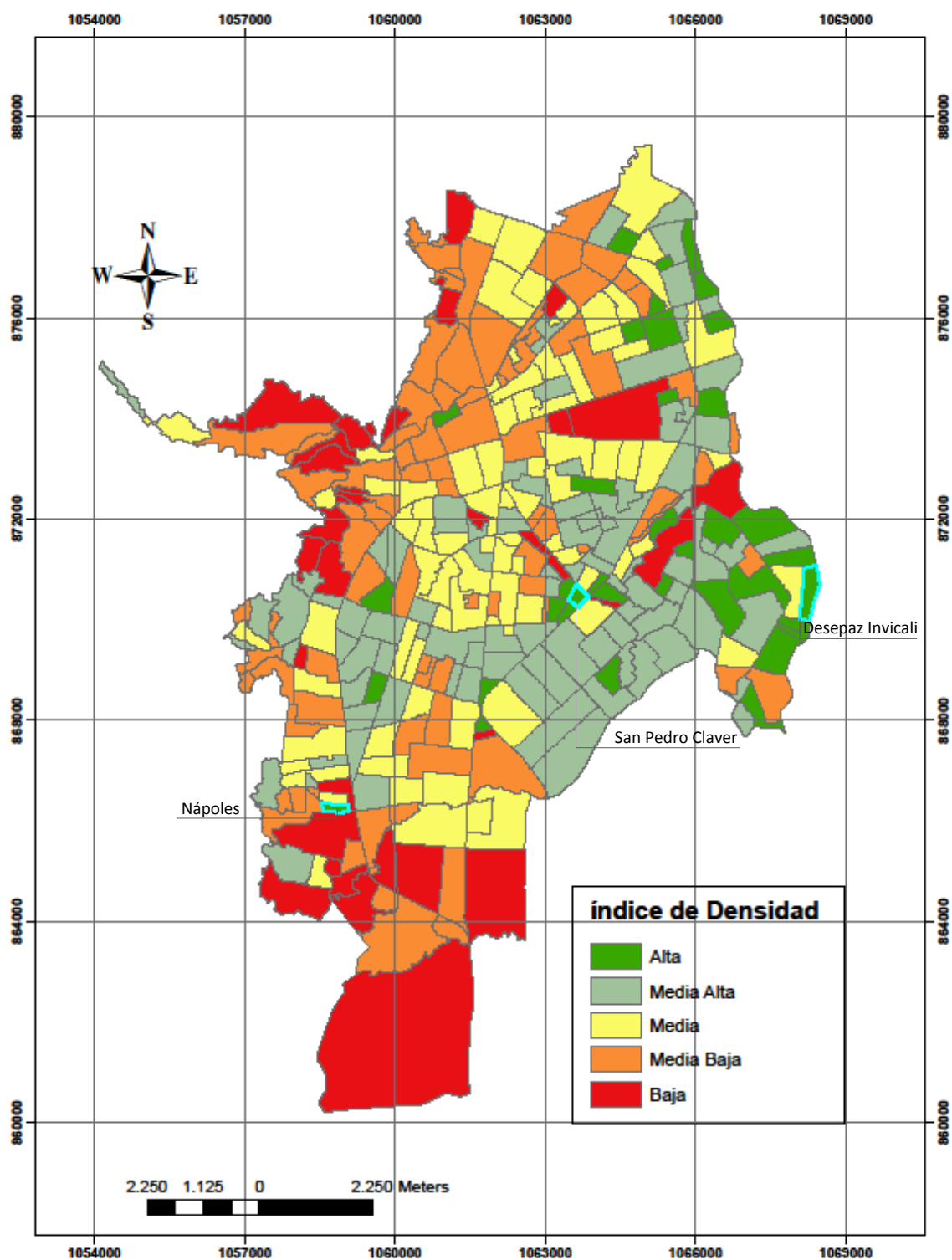


Ilustración 11. Índice de Densidad para las Motocicletas.

Fuente: Elaboración propia

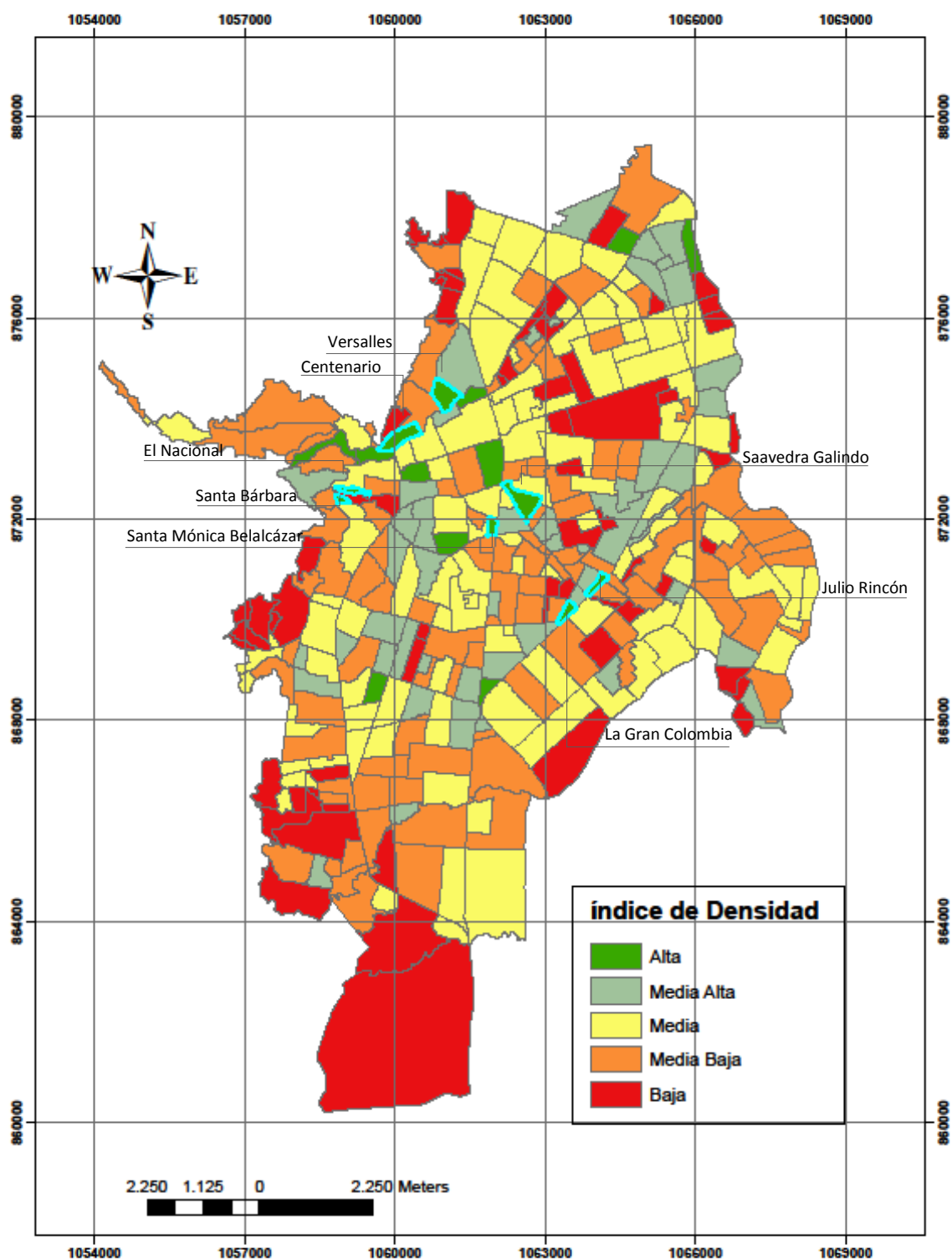


Ilustración 12. Índice de Densidad para el BRT.

Fuente: Elaboración propia

En general, la densidad vial media de la infraestructura del sistema de autobús de tránsito rápido en la ciudad de Cali es de 3,245 km de vías por cada kilómetro cuadrado del territorio, lo que está relacionado con la movilidad y la prestación del servicio de transporte público, mientras que la densidad vial de la infraestructura vial mixta de la ciudad, es de 26,226 km por cada kilómetro cuadrado del territorio, relacionada con la movilidad y la facilidad de desplazamiento de la población.

7.2.2. Índice de Shimbél

En la configuración espacial del índice de Shimbél se evidencia que este depende de la propia distribución espacial de las unidades de análisis, como lo son los barrios, es decir, la propia forma de la ciudad influye en la configuración del índice, donde se observó que hay barrios de difícil conectividad con el resto de la ciudad, mostrando un bajo nivel de accesibilidad topológica con los demás barrios del territorio.

En la Ilustración 14 y 15 se obtuvo como resultado la representación cartográfica del índice de Shimbél, donde los colores más claros representan los barrios con un valor más bajo del índice, mientras que los colores más oscuros representan los barrios con el índice más alto. Respecto a los valores obtenidos para ambos medios de transporte, se estable que existe una relación del 92.9% entre la infraestructura vial de estos, es decir, que la relación es directamente proporcional.

En la matriz obtenida se observa que el valor del índice de Shimbél más bajo corresponde a Santa Mónica Belalcázar, lo que indica que es el barrio más accesible mediante la infraestructura vial de ambos medios de transporte. En el caso del barrio Parcelaciones Pance es el que obtuvo el valor más alto del índice, lo que lo convierte en el menos accesible de la ciudad.

En el caso del conjunto de datos para el sistema de autobús de tránsito rápido (BRT), el 39.5% de los datos están agrupados espacialmente en torno a la zona centro de la ciudad, presentando mejor acceso a esos barrios, es decir, se encuentran más cerca de todos, mientras que a medida que los barrios se alejan del centro de la ciudad, disminuye su accesibilidad, observándose que los barrios ubicados en la periferia presentan mayores distancias topológicas.

Respecto al análisis estadístico a los índices de accesibilidad, los datos muestran un agrupamiento de valores bajos en torno a la zona centro, lo cual supone una mejor situación de acceso a tales nodos, y con una tendencia creciente hacia la periferia donde las distancias topológicas son mayores. Al comparar los barrios con nivel de accesibilidad alta y media-alta para ambos medios de transporte, se obtuvo que más del 50% (ver ilustración 13) cuentan con esta característica, tal y como se evidenció en los resultados obtenidos por el estudio realizado por Cardozo et al., 2009 para Argentina.

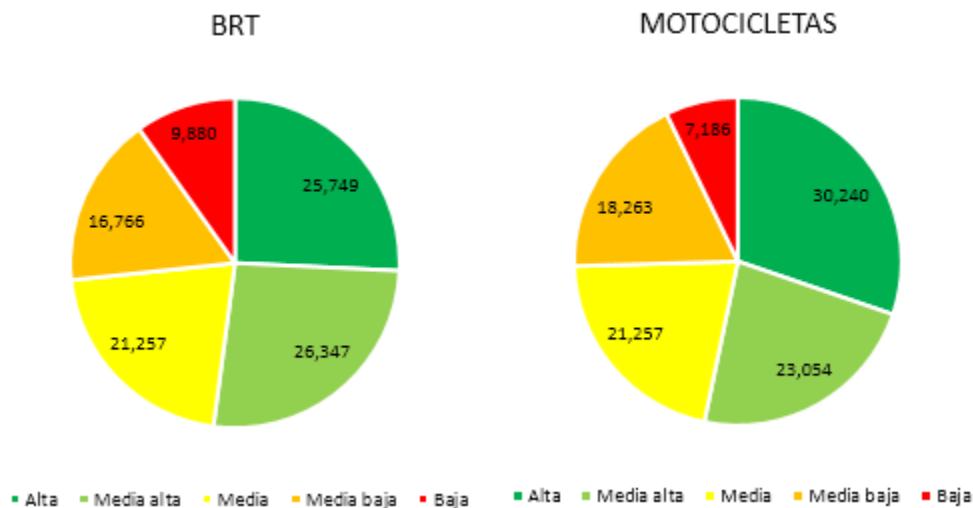


Ilustración 13. Estadística índice de Shimbela.

Fuente: Elaboración propia

Los barrios en estado crítico (Accesibilidad baja) en cuanto a accesibilidad para desplazarse desde un nodo a todos los demás por medio del transporte motocicleta a través de la malla vial de la ciudad de Cali, y por medio del BRT a través de la malla vial del sistema de transporte masivo MIO. El conjunto de datos correspondientes a ambos intervalos coincide en condiciones de accesibilidad baja evaluados mediante ambos medios de transporte.

En el caso de los barrios Ciudad Universitaria, Urbanización Ciudad Jardín y Unicentro Cali, presentan cambios significativos en cuanto a accesibilidad en distancia, ya que realizando el desplazamiento desde estos barrios hacia los demás mediante la infraestructura del MIO, su accesibilidad disminuye respecto a la infraestructura vial mixta de la ciudad de Cali.

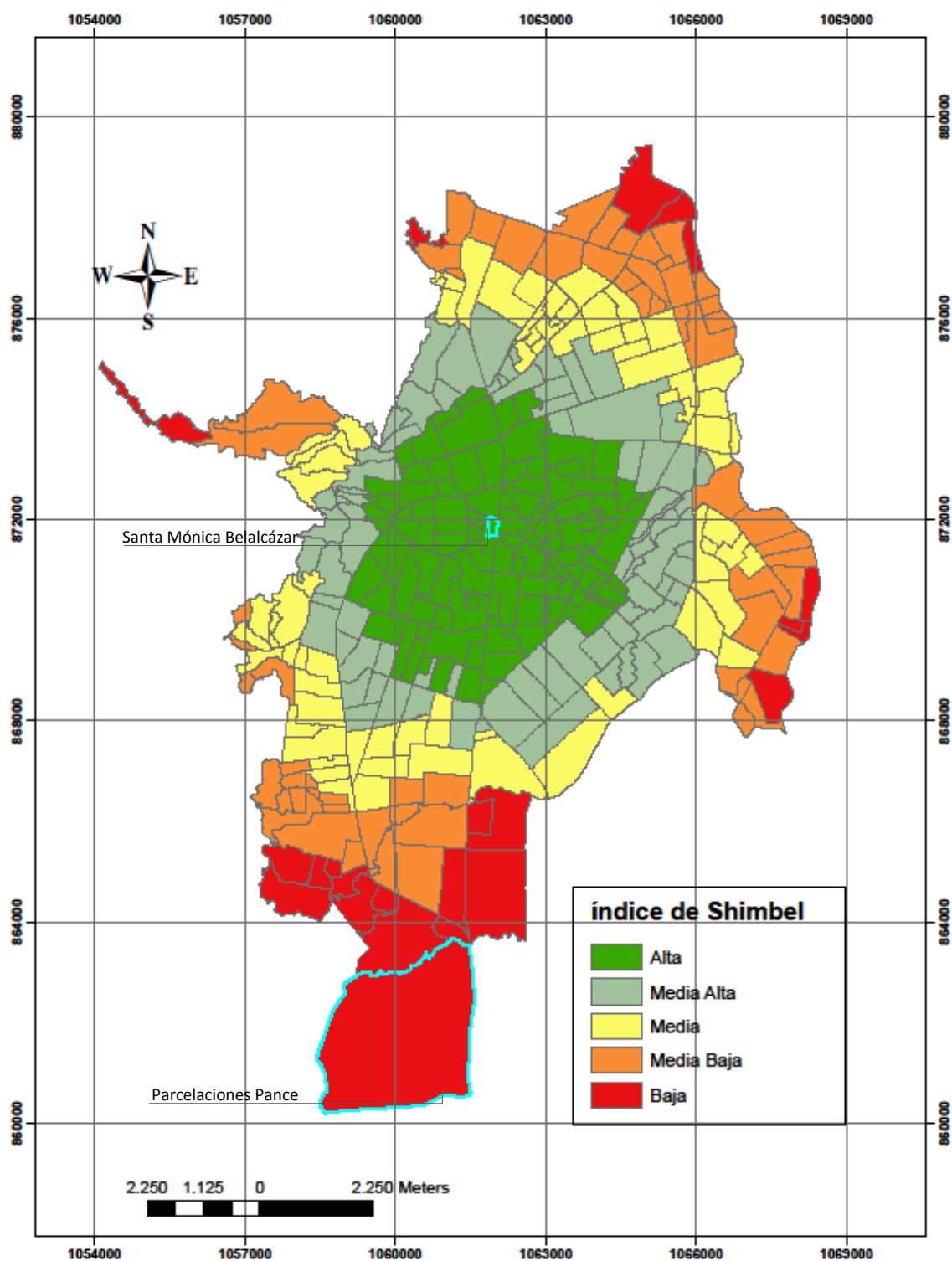


Ilustración 14. Índice de Shimbel para las motocicletas.

Fuente: Elaboración propia

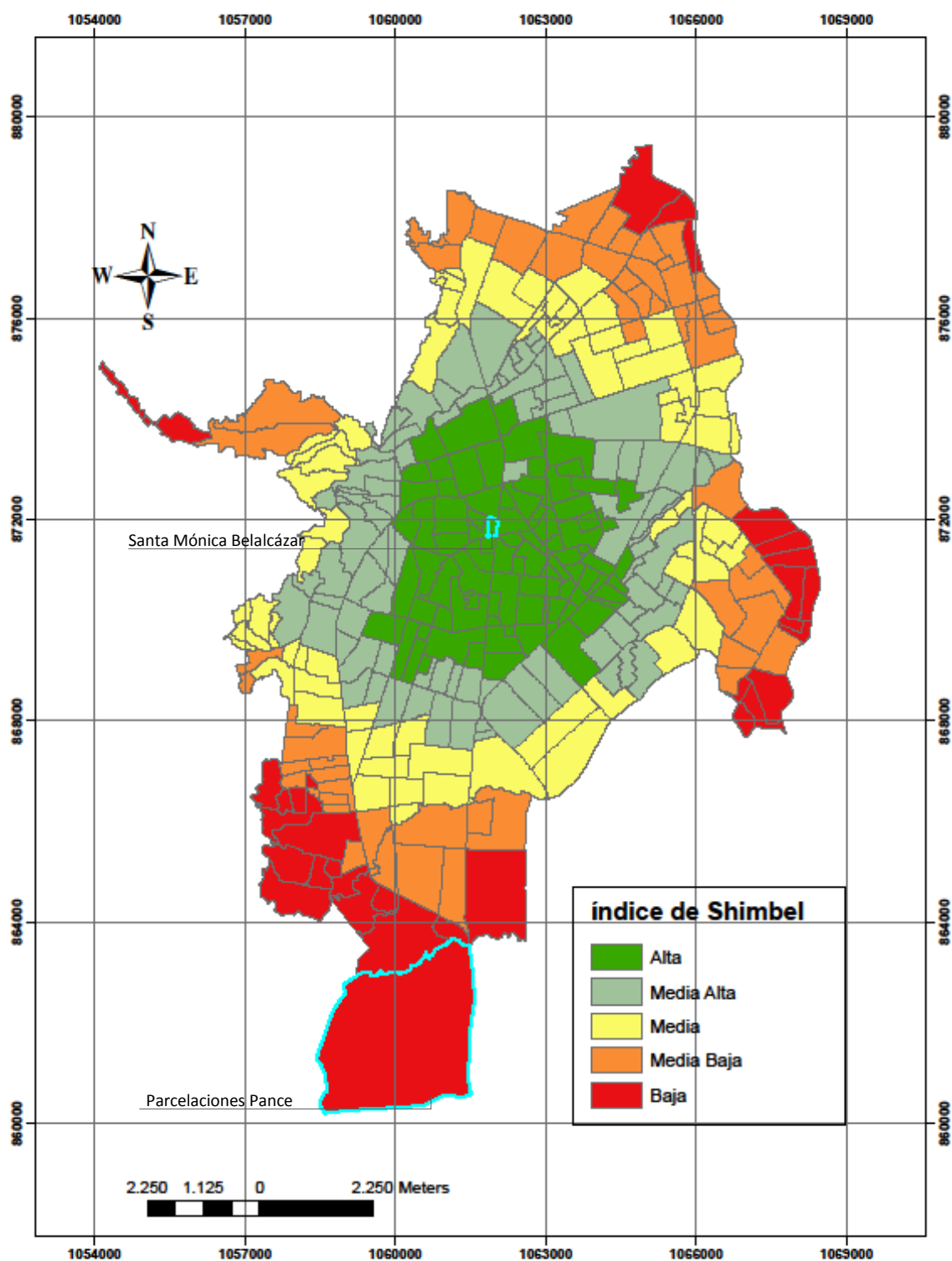


Ilustración 15. Índice de Shimbel para el BRT.

Fuente: Elaboración propia

7.2.3. Índice Gravitacional

De la relación generada por la población y la distancia entre los barrios se obtuvieron los valores para este índice, los cuales al ser comparados con el índice de Shimbeld calculado anteriormente, se tuvo que los barrios ubicados en la periferia de la ciudad se encuentran entre los de menor valor en el índice de gravedad, y claro, lo anterior se debe a las distancias tan largas que se deben recorrer desde estos nodos de la ciudad para acceder al resto de la ciudad, lo que castiga el comportamiento de estos barrios respecto a la atracción que pueda generar su población. En el caso del índice de gravedad en ambos medios de transporte analizados, se observó que el barrio Ciudadela Floralia, se encuentra dentro de la categoría de barrios antes mencionada, pero presentó un comportamiento contrario o lo que ocurrió con el resto de barrios de esta categoría, es decir, su valor correspondiente en el índice de gravedad es de 1, es decir, que el grado de atracción de este barrio es tan grande hablando en términos de población, que la distancia pasa a un segundo plano, al momento de relacionarse con los demás barrios.

La relación que se establece entre estas distancias y la población asociada a cada barrio, permitió conocer el grado de atracción que ejerce cada barrio en la ciudad; los barrios de Ciudad Córdoba, Mojica, Ciudadela Floralia, Alfonso Bonilla Aragón, Antonio Nariño, Mariano Ramos, Los Comuneros I, Unión de Vivienda Popular, Manuela Beltrán, El Vallado y El Vergel de la zona oriente tienen asociado un tanto 14,35% (tabla 3) de la población total de Cali, donde estos corresponden a barrios estrato 1,2 y 3, y cuentan con una población densa como se observó en la relación del índice de gravedad, pero a su vez la infraestructura vial del sistema de transporte BRT en esta zona es deficiente respecto a la infraestructura vial de las motocicletas, es decir, esa población es una oportunidad de demanda para el sistema de transporte público pero las condiciones de desplazamiento del sistema en estos barrios no garantizan un buen nivel de accesibilidad, por lo que dadas estas condiciones, otros sistemas de transporte como lo son las motocicletas, se convierten en una alternativa más eficiente que facilita el desplazamiento de esta población hacia el resto de la ciudad.

Tabla 3. Relación del índice de Gravedad respecto a la población.

Fuente: Elaboración propia

Total población de Cali 2015 (habs)		2'302.033		
Barrio	Población 2015 (habs)	Estrato	Porcentaje (%)	
Ciudad Córdoba	37572	3	1,632	
Mojica	31054	1	1,349	
Ciudadela Floralia	51742	2	2,248	
Alfonso Bonilla Aragón	30508	1	1,325	
Antonio Nariño	25852	2	1,123	
Mariano Ramos	29417	2	1,278	
Los Comuneros I	25660	2	1,115	
Unión de Vivienda Popular	22161	2	0,963	
Manuela Beltrán	31925	1	1,387	
El Vallado	23689	2	1,029	
El Vergel	20754	1	0,902	
Porcentaje de población de la ciudad			14,350	

Como se observa en la Ilustración 16 entre el 3,29% y 4,19% (BRT-Motocicletas, respectivamente) de los barrios de la ciudad de Cali, presentan una accesibilidad alta respecto a la interacción entre la población y la distancia entre dos barrios; respecto al nivel de accesibilidad media-alta corresponde a un 6,89% y 7,78% respectivamente, el nivel de accesibilidad media se encuentra un 14,07% y 15,27% y en el caso del nivel de accesibilidad media baja y baja, se observa que representa más del 70% de los barrios de la ciudad para ambos medios de transporte. Lo anterior permite evidenciar estadísticamente que la mayor parte de los barrios de la ciudad de Cali, cuentan con un nivel de accesibilidad Media-Baja y Baja, es decir que sus condiciones de accesibilidad respecto al índice de gravedad se mas influenciada por la distancia que por su nivel de atracción poblacional.

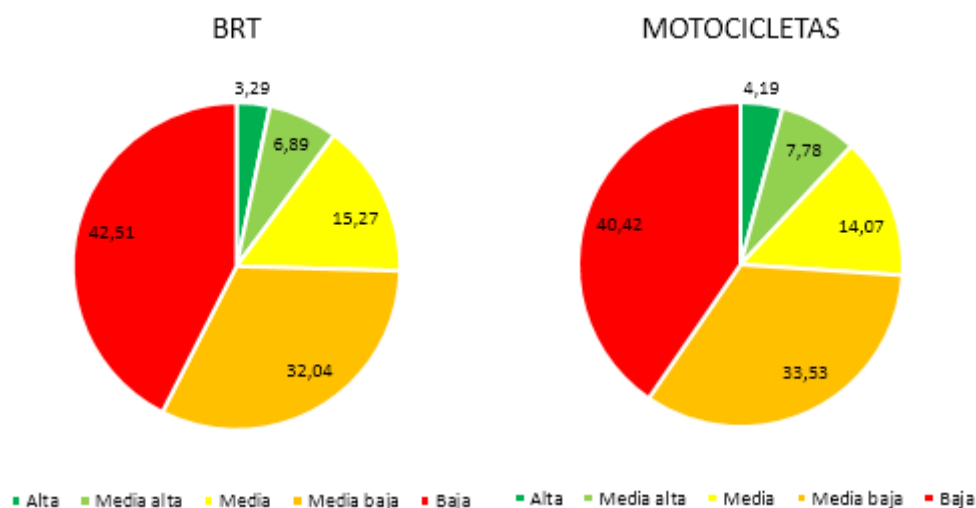


Ilustración 16. Estadística Índice de Gravedad.

Fuente: Elaboración propia

Tal como se observa en los mapas de gravedad de las motocicletas y en el sistema de autobús de tránsito rápido (BRT) (Ver ilustración 17,18), los barrios del oriente de la ciudad obtuvieron una accesibilidad Alta, es decir, que la concentración de población en esta zona de Cali, genera que la atracción de éstos con los demás barrios, sea mayor a la distancia de recorrido entre los mismos.

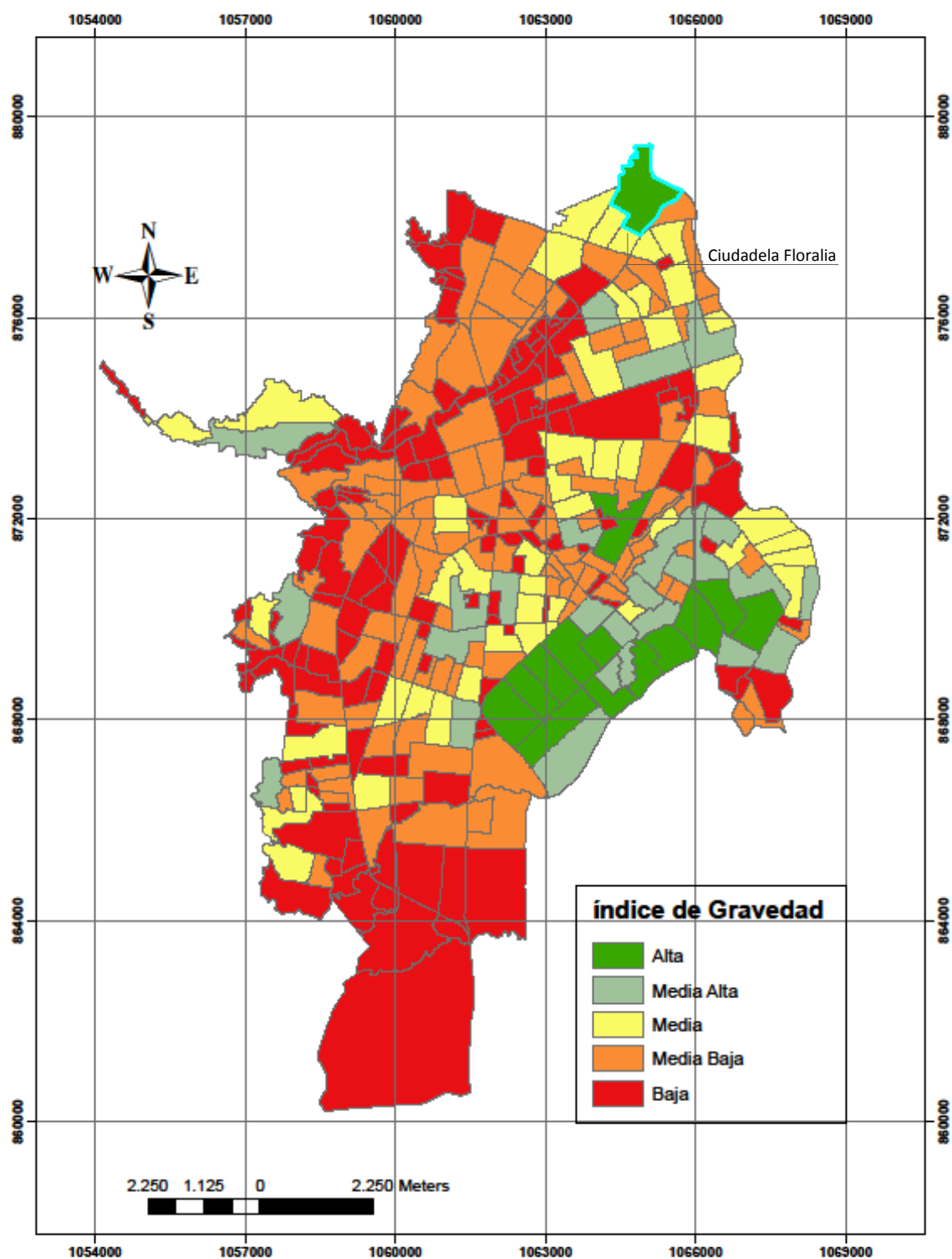


Ilustración 17. Índice de Gravedad para las motocicletas.

Fuente: Elaboración propia

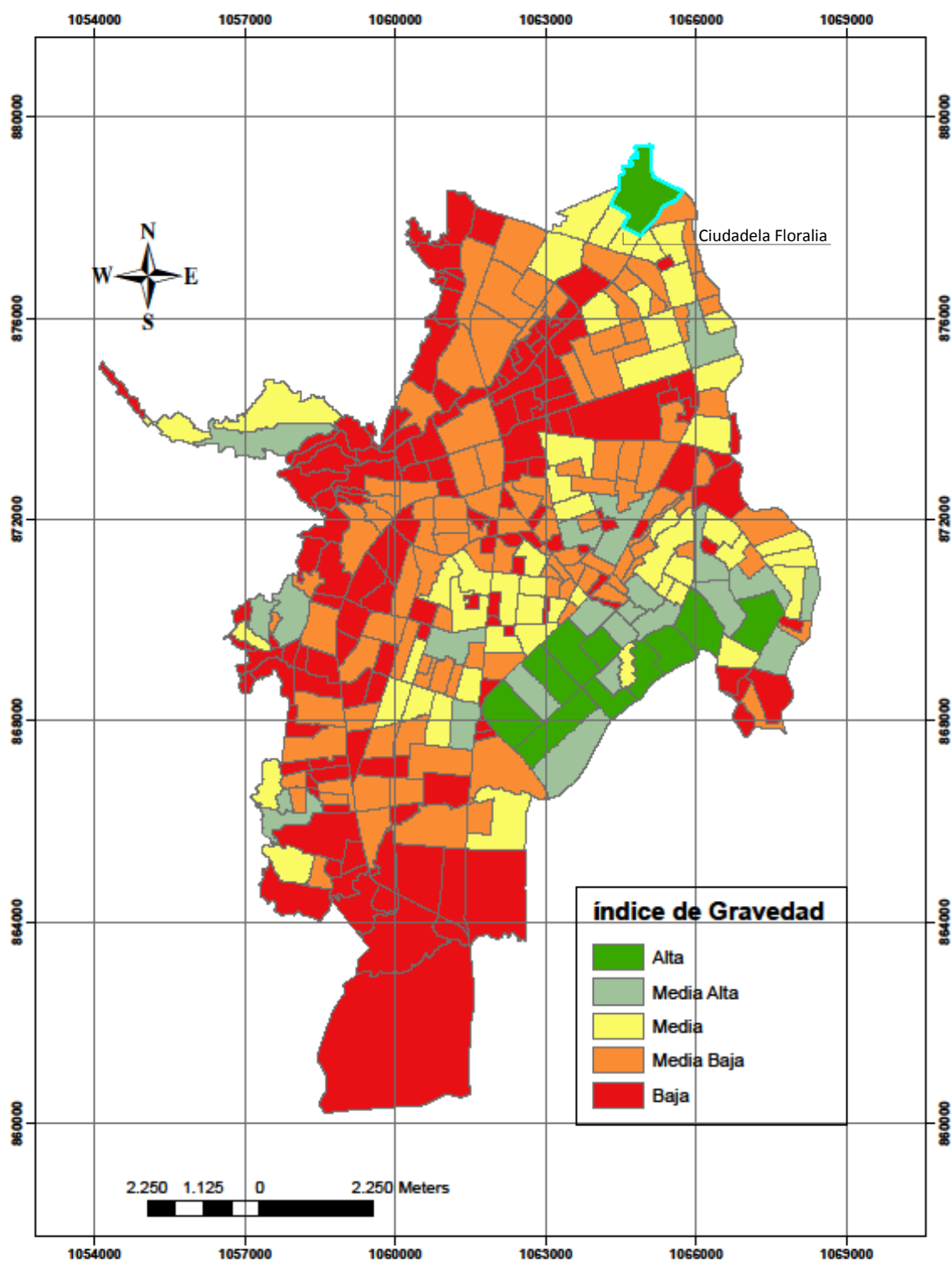


Ilustración 18. Índice de Gravedad para el BRT.

Fuente: Elaboración propia

7.2.4. Tiempo de viaje

En el caso del medio de transporte motocicleta, el percentil 85 correspondiente a la velocidad crítica a la cual debe establecerse el límite máximo de velocidad, dio como resultado que esta velocidad es de 36.849 km/h, mientras que en el transporte BRT, dio como resultado una velocidad de 12.82 km/h.

Frente a los resultados obtenidos para BRT, es importante mencionar las condiciones bajo las cuales fue analizado. Este transporte es un Sistema Integrado que trae consigo la intermodalidad, es decir, la integración del transporte motorizado y no motorizado, donde este último castigó la velocidad y por ende el tiempo de viaje del sistema, ya que el trayecto de caminata que se realiza para acceder al modo motorizado o para el último trayecto del viaje para llegar al destino, implica relacionar una velocidad de 4.5 km/h de este modo de transporte la cual se obtuvo a partir de los datos de Google Maps donde relacionan la velocidad de un peatón con un aproximado de desplazamiento de 12 minutos por kilómetro recorrido; mientras que la velocidad de desplazamiento del transporte de motocicleta, varía entre 1.68km/h y 62.29km/h en la hora pico de la mañana.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se evidencia que una de las razones por las que desde el año 2009 la tendencia de tasa de motorización va en aumento de manera alarmante, es el tiempo que se debe invertir en el transporte público de la ciudad, en este caso, el BRT. La diferencia en cuanto a tiempo de viaje entre ambos medios de transporte, determina en muchos casos la elección de transporte, donde la mayoría de veces este factor incentivando el uso de las motocicletas.

En el caso del tiempo de recorrido, asumir en el caso de las motocicletas, que el comportamiento de los vehículos en cuanto a velocidad, puede explicar el de las motocicletas, permitió establecer una relación estadística que explica en un 47%, lo que sucede en las vías en cuanto a velocidad. Es importante decir que los valores medidos en campo no se ajustan de forma exacta a un modelo estadístico, debido a errores de medida y a que el modelo es una simplificación de lo que pasa en la realidad, ya que no tiene en cuenta todo el conjunto de parámetros que puede influir en una medición. Respecto al procedimiento realizado para determinar la velocidad del sistema MIO, es necesario contar con información referente a los transbordos que se realizan en determinados recorridos ya que estos influyen en la facilidad de desplazamiento de una población. La implementación de los procedimientos mencionados para el cálculo de la velocidad, se basaron en la información recopilada y disponible, si bien es cierto que un modelo estadístico trae asociado errores, éstos permitieron dar solución a los inconvenientes relacionados con la falta información.

Respecto a la cartografía generada (ilustración 20,21) y el análisis estadístico (ilustración 19), se evidenció que el comportamiento de tiempo de viaje en ambos medios de transporte, corresponde a una representación simétrica al igual que la obtenida en el índice de Shimbela para las motocicletas y para el BRT y que la mayoría de los barrios de la ciudad de Cali (entre 73.35% - 74.55%) cuentan con un nivel de accesibilidad entre alta y media para ambos medios de transporte.

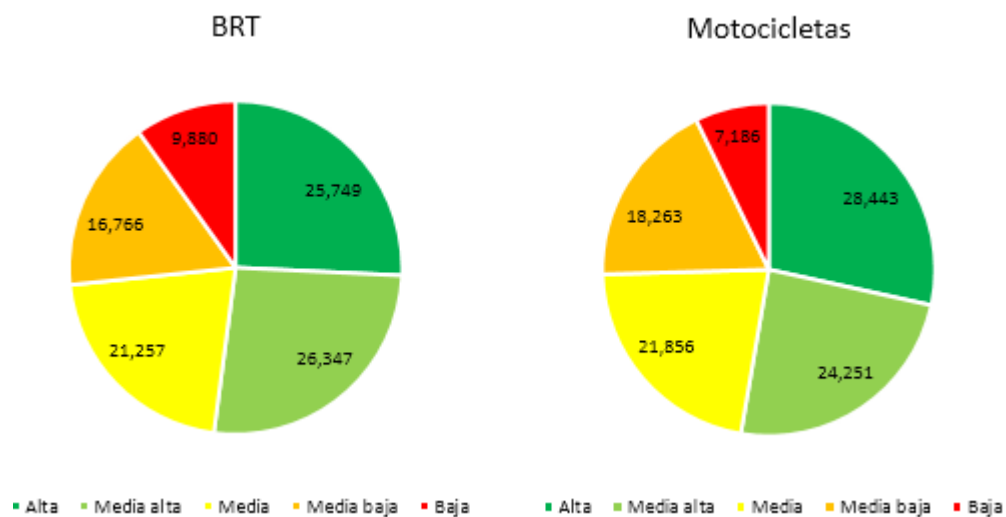


Ilustración 19. Estadística Índice de Gravedad.

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la diferencia de tiempo entre ambos medios de transporte se obtuvo que los barrios Sector Patio Bonito, Paso del Comercio, Sector Alto Jordán, Compartir, Vista Hermosa, Cuarteles de Nápoles, Desepaz, Invicali, Ciudadela del Río – CVC, Ciudad Talanga, Polvorines, Pizamos I, Prados del Sur, Pizamos II, Los Farallones, El Jordán, Valle Grande, Mario Correa Rengifo, Urbanización Calimio, Pizamos III - Las Dalias, Alto Nápoles, Horizontes, El Remanso, Colinas del Sur, Los Líderes, Potrero Grande, Sector Alto de los Chorros, Lourdes, Parcelaciones Pance y Urbanización Ciudad Jardín, los cuales se ubican en la zona ladera y zona oriente de la ciudad a excepción de los dos últimos, son los que se encuentran en situación crítica respecto al tiempo de viaje independientemente del medio de transporte usado, es decir, que para estas zonas aspectos como la topografía del terreno, y su ubicación en la periferia de la ciudad, hace que su nivel de accesibilidad disminuya respecto al resto de barrios de la ciudad.

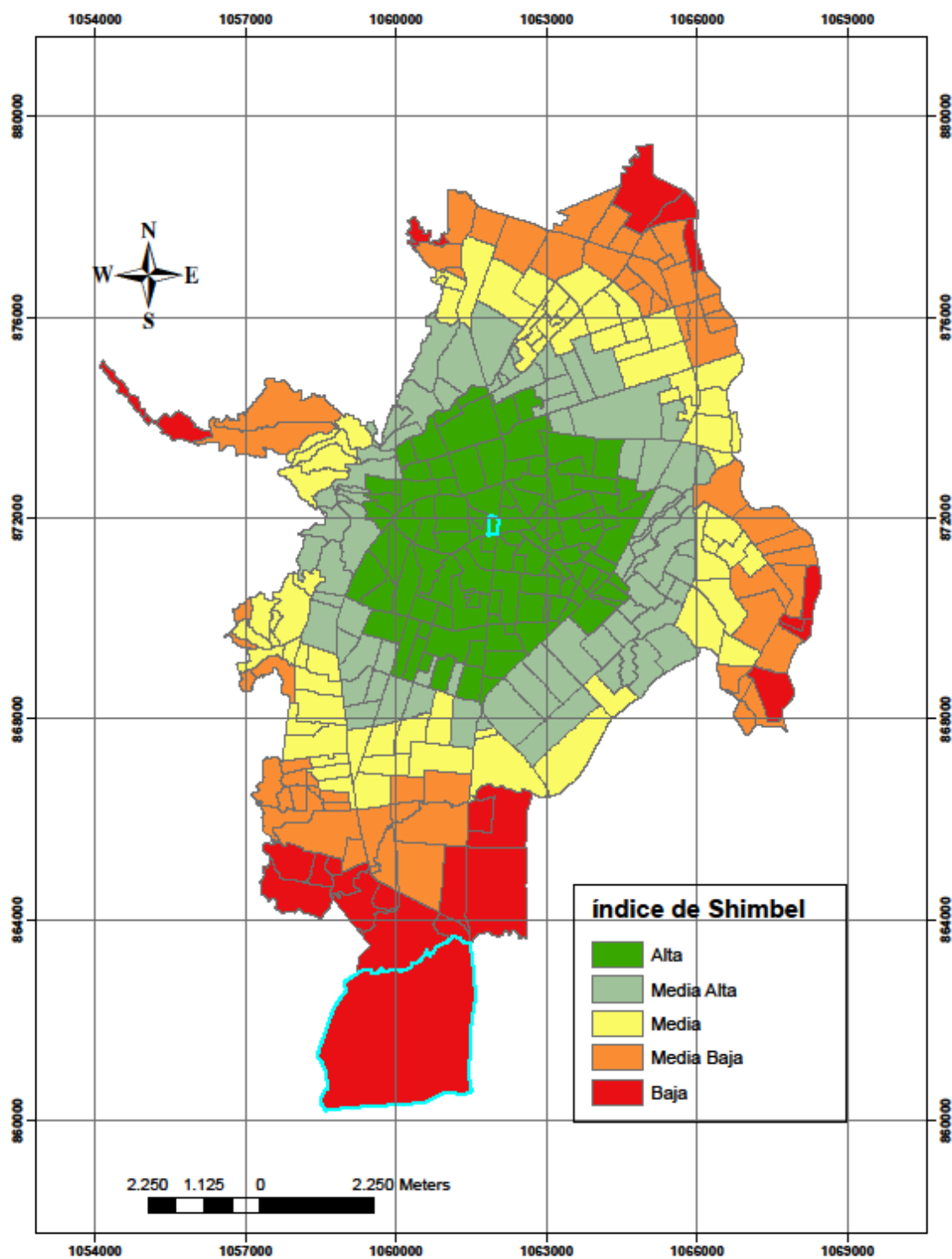


Ilustración 20. Diferencia de tiempo de viaje para las Motocicletas

Fuente: Elaboración propia

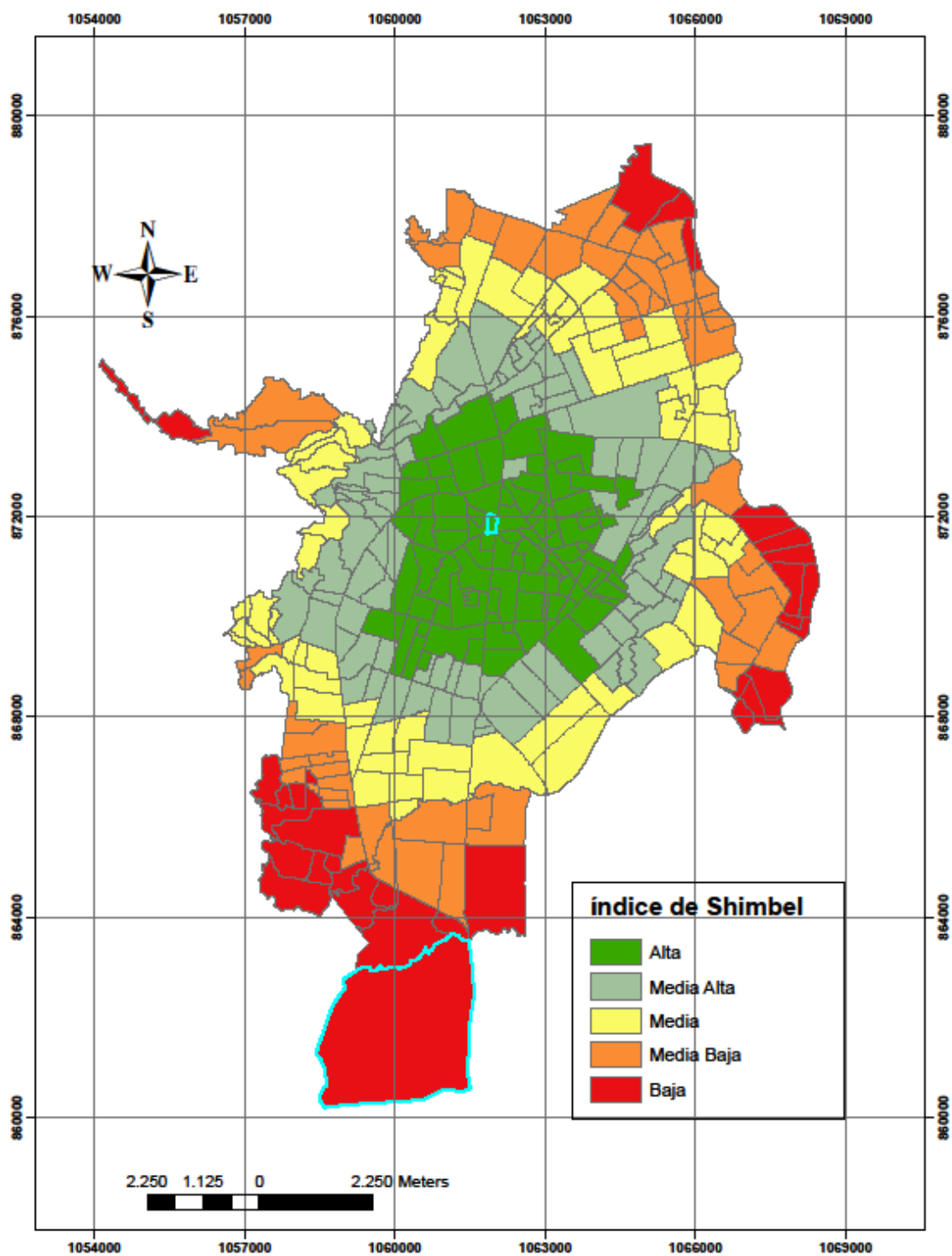


Ilustración 21. Diferencia de tiempo de viaje para el BRT.

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos para el tiempo de viaje se relacionaron con el estrato socioeconómico de cada uno de los barrios, encontrando que el 74,85% de los barrios son de estrato moda 1, 2 y 3, es decir, la población más vulnerable de la ciudad es la que más se ve afectada en cuanto a los desplazamientos que deben realizar sus habitantes para acceder al resto de la ciudad y en una menor proporción se encuentran algunos barrios estrato socioeconómico 6. En la ilustración 22 se observa que influye poco el estrato socioeconómico, por el contrario, se relaciona más de acuerdo a la distribución espacial ya que por sus condiciones de ubicación en la periferia de la ciudad, dificulta el desplazamiento de esta población.

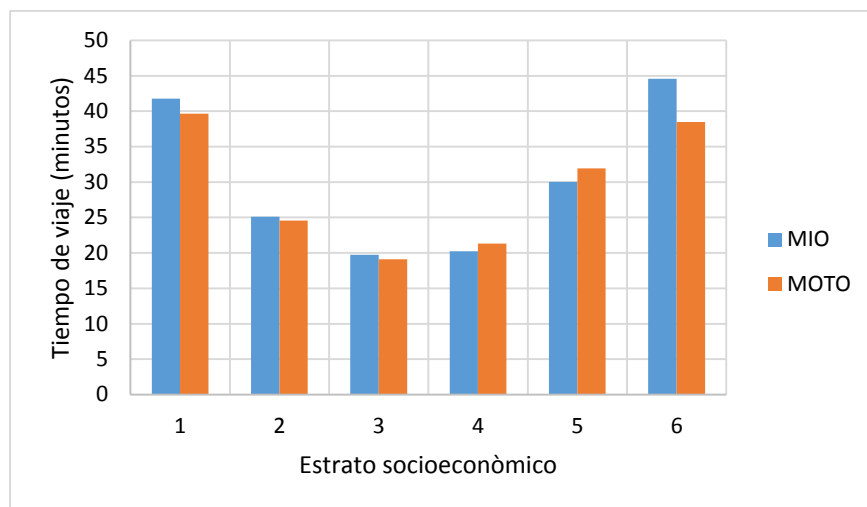


Ilustración 22. Relación tiempo de viaje vs estrato socioeconómico

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los valores resultantes de la relación establecida entre los tiempos de viaje y el estrato socioeconómico, los resultados evidencian un comportamiento similar a los registrados en el informe anual de Cali como vamos 2015, donde el promedio de tiempo de viaje según el estrato esta entre 41 minutos (estrato 1 y 2), 39,1 minutos (estrato 3 y 4) y 37,8 minutos (estrato 5 y 6), y en general registran un tiempo de viaje entre 38 y 39 minutos para la ciudad de Cali entre el 2014 y 2015. De acuerdo a los tiempos de viaje de cada medio de transporte se obtuvo un rango de tiempo para las motocicletas entre 1,05 y 34,08 minutos (anexo 6), mientras que para el BRT el rango de tiempo se encuentra entre 1,52 y 99,33 minutos (anexo 7).

8. VALIDACIÓN

Mediante los resultados obtenidos en los índices de accesibilidad implementados en este trabajo, se realizó la comparación de todos los índices para el medio de transporte motocicleta y para el BRT, donde se encontró en el caso de las motocicletas (ilustración 23), con un coeficiente de determinación por encima del 30% para los indicadores de densidad y el índice de gravedad,

mientras que se observa que la relación que se establece entre los demás indicadores, no representan significancia de relación entre estos.

En el caso del BRT (ilustración 24), se encontró que la relación que se establece entre los indicadores para este medio, no representa mayor significancia, ya que el coeficiente de determinación que mejor se obtuvo fue del 1.5% para el caso entre el índice de gravedad y el índice de shimbel.

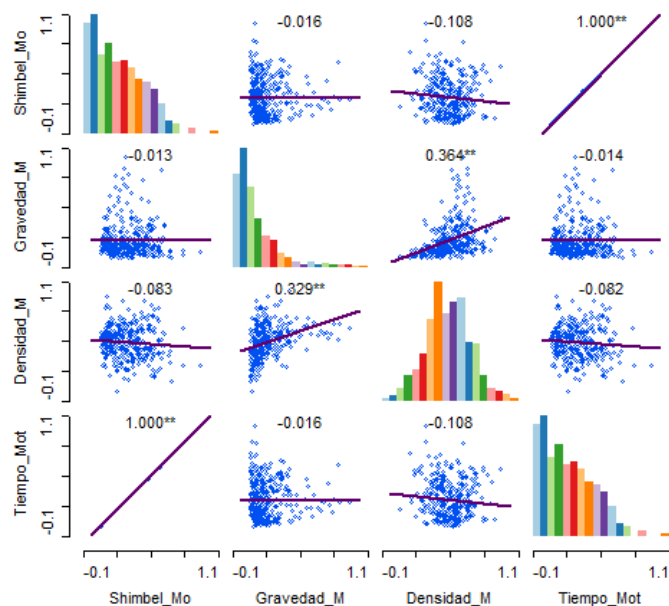


Ilustración 23. Relación entre los índices de accesibilidad para motocicletas.

Fuente: Elaboración propia

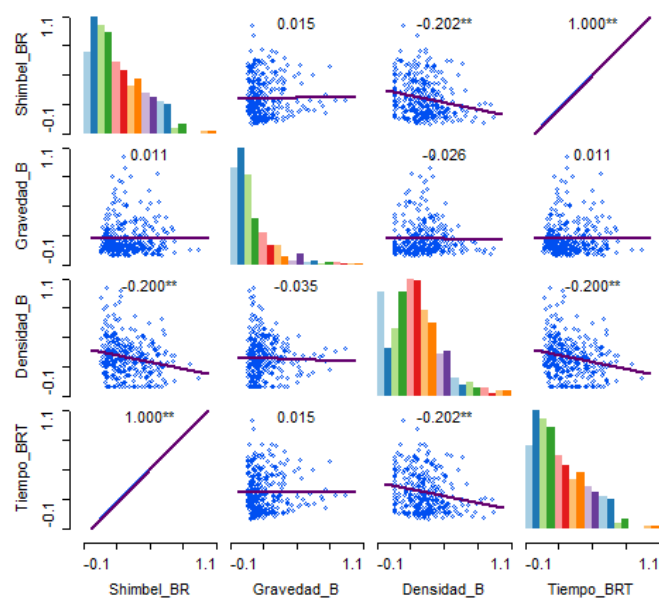


Ilustración 24. Relación entre los índices de accesibilidad para BRT.

Fuente: Elaboración propia

9. CONCLUSIONES

- El análisis de los resultados permitió conocer la distribución de la accesibilidad en la ciudad de Cali para el modo de transporte de motocicletas y el sistema de autobús de tránsito rápido (BRT). Los resultados muestran los diferentes enfoques que cada indicador de accesibilidad aportó a este trabajo, y evidencian que la infraestructura no es el único factor que influye en la distribución de la accesibilidad en el territorio.
- Los resultados obtenidos con el índice de Shimbeldy y con el tiempo de viaje, presentaron un comportamiento asociado a la localización, es decir, que la influencia de la localización geográfica de los barrios, provocó la aparición de un patrón espacial centro-periferia, donde los barrios ubicados en la periferia de la ciudad tienen menor accesibilidad por lo que se debe considerar una alternativa que facilite el desplazamiento de los habitantes de estos barrios. Establecer rutas que mejoren el tiempo de desplazamiento de los habitantes, podría ser una alternativa que permita que el BRT, recupere usuarios del sistema, garantizando un incremento en sus ingresos, que le permitirá invertir en el mejoramiento continuo del sistema masivo.
- La accesibilidad al transporte público, en este caso el sistema de autobús de tránsito rápido (BRT), es uno de los factores que limitan a la población a este medio de transporte, ya que el concepto de accesibilidad depende de la distancia y la facilidad de desplazamiento entre un origen y un destino, incluyendo puntos de recarga, estaciones, paradas, entre otros, y el sistema MIO que presta el servicio de transporte público en la ciudad, debe mejorar los aspectos relacionados con la eficacia del servicio, es decir, tiempos de viaje y frecuencias, que garantice una accesibilidad integral para toda la población que hace uso del servicio.
- Con relación a las velocidades con las que se movilizan en la ciudad ambos medios de transporte, las cuales fueron utilizadas en el cálculo de los tiempos de viaje, reflejaron el tiempo como un posible factor determinante en su uso, a pesar de que pueden recorrer distancias similares para llegar a un destino, el BRT tarda más respecto a las motocicletas debido a los factores como la intermodalidad y en general aspectos relacionados con la planificación del mismo sistema MIO, ya que la situación que se da actualmente, es el resultado de no tener en cuenta aspectos como la densidad poblacional de la ciudad, el tipo de población, vulnerabilidad social, entre otros.
- En el caso del índice de gravedad, los resultados aportaron información acerca de la relación que se establece entre la atracción ejercida por la población de dos barrios y la distancia que separa a éstos, donde se evidenció que la distancia de desplazamiento de un barrio hacia los demás, es determinante en la decisión del viaje a realizar, ya que la mayoría de

barrios con accesibilidad baja que se obtuvo en el índice de Shimbél, conservan esta misma condición en el índice de gravedad, es decir, que el nivel de atracción de la población de estos barrios, no es suficiente para mejorar las condiciones de accesibilidad de los mismos, en contraste, se encuentran barrios del oriente de la ciudad, cuya condición de accesibilidad mejoro en el índice de gravedad respecto a la accesibilidad obtenida en el índice de Shimbél, lo cual se encuentra asociado al cantidad de población que se concentra en esta zona de Cali.

- El cálculo de densidad de infraestructura permitió evaluar el equilibrio espacial presente entre los barrios, evidenciando que este es un factor determinante en la facilidad de desplazamiento entre los nodos, presentando en éste caso mayor eficiencia la infraestructura vial para las motocicletas de acuerdo al índice de densidad obtenido para ambos medios de transporte, donde se cuantificó el kilometraje por cada barrio, lo que conlleva a un mejor panorama para el desplazamiento en motocicleta lo cual podría ser un factor importante en el incentivo del uso de este medio de transporte. Los resultados de este índice sugieren la necesidad de aumentar la red vial, con el fin de cubrir mejor los espacios existentes y para mejorar la situación de algunos barrios con problemas de accesibilidad.
- En general el comportamiento del autobús de transporte rápido (BRT) y las motocicletas desde la perspectiva de la accesibilidad, analizados mediante los índices de densidad, shimbél, gravedad y tiempo de viaje, presentó una mayor diferencia entre ambos medios de transporte en el índice de densidad, donde se relacionó los kilómetros de vía de cada barrio respecto a su área, obteniendo que la malla vial de las motocicletas presenta mayor accesibilidad que el BRT, mientras que los demás índices presentaron un comportamiento similar debido a que se relacionan con la distancia establecida entre los barrios.

10. RECOMENDACIONES

- Es importante tener en cuenta para futuros estudios, la realización de un análisis de mayor detalle del tiempo de recorrido del sistema de autobús de tránsito rápido (BRT), los factores asociados a los modos de transbordos, que pueden estar definidos por un transbordo troncal - pretroncal, pretroncal – complementario, complementario – troncal o viceversa, entre otros, ya que este tiempo castiga el tiempo total que invierte un usuario al desplazarse desde un origen hacia un destino específico. El modelo de velocidad implementado en este estudio permitió solucionar algunos de los inconvenientes relacionados con el cálculo del tiempo de recorrido del BRT, pero tal como menciono anteriormente, es importante considerar todos los tiempos involucrados en el desplazamiento en este medio de transporte.

- Para la realización de estudios comparativos, se recomienda realizar la medición de datos de campo de manera simultánea de los medios de transporte analizados, ya que en al obtener los resultados estos están influenciados por las condiciones, externalidades y características del entorno que se dieron en ese determinado momento.

11. BIBLIOGRAFÍA

Análisis de la movilidad urbana Espacio , medio ambiente y equidad. (2010).

Badii, M.H., et. al. 2011.Nociones Introductorias de Muestreo Estadístico. International Journal of Good Conscience, 89-105.

Barea, P; Martinez, O. (2002). Metodologías de evaluación de la accesibilidad y nuevos enfoques.

Barrientos, M. (2007) El análisis de Redes desde ArcGIS 9.2.

Calicomovamos 2016. Movilidad Abril 2016.

Cal y Mayor Rafael, Cárdenas G James (1994); Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones, Capítulo 6, 97-113, Alfaomega, México.

Cámara de Comercio. (2012). Cámara de Comercio de Cali: <http://www.ccc.org.co/movilidad-un-reto-para-una-cali-con-futuro/>

Cantergiani, C. C., Aplicación, U., Sig, M., Ciudad, A. L. A., & Henares, D. E. A. D. E. (2007). PARA LA MOVILIDAD Y EL TRANSPORTE, 31–50.

Cardozo, D., Gómez, E., Parras, M. 2009. Teoría de Grafos y Sistemas de Información Geográfica aplicados al Transporte Público de Pasajeros en Resistencia (Argentina). Revista Transporte y Territorio, Universidad de Buenos Aires, 2009. ISSN: 1852-7175. pp. 89-111

Catalunya, G. De, Ambient, D. D. M., Europea, A., & Ambiente, D. M. (1999). Modelos e Indicadores para ciudades más sostenibles Taller sobre Indicadores de Huella.

Cervero. R., Kockelman, K.(1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design, 199-219.

COMISIÓN EUROPEA (1999): “Estrategia Territorial Europea. Hacia un desarrollo equilibrado y sostenible del Territorio Europeo”, Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de las Comunidades Europeas.: http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/official/reports/pdf/sum_es.pdf

Curl, A., Nelson, J., Anable, J.(2011). Does Accessibility Planning address what matters? A review of current practice and practitioner perspectives, 3-11.

Díaz, A. P., & Fernández, P. (2002). Determinación del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal, 1–5.

Dijkstra, S. P. (2016). 5. pgRouting Algorithms, 1–8.

Dinámico, P., & Aplicación, S. U. (2004). Nálisis de accesibilidad e interacción espacial a través del potencial dinámico : su aplicación a los partidos * de la.

Fernandez, F., (2000) Transporte público de viajeros y accesibilidad en la provincia de Albacete,

Ediciones de la universidad de castilla, capítulo 2.4.

Fernandez, R & Valenzuela, E. Modelos para estimar la velocidad comercial del transporte publico en santiago de chile. Departamento de Ingeniería Civil Universidad de Chile, 247–256.

Ferreira, Marco César. (2014). Iniciação á análise geoespacial: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento / Marcos César Ferreira.- 1.ed.- São Paulo: Editora Unesp.

Funes, H. N., Viollaz, A. J., Santiago, M., Di, M., & Estadísticas, I. D. E. I. (2004). Métodos estadísticos en problemas espaciales.

Gakenheimer, R. (1998). Los problemas de la movilidad en el mundo en desarrollo: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71611998007200002&lang=pt

Gesell, C., & Vidal, M. (2008). Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla.

Golub, A., & Martens, K. (2014). Using principles of justice to assess the modal equity of regional transportation plans. *JOURNAL OF TRANSPORT OF GEOGRAPHY*, 41, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.07.014>

Giddens, A. (1984). The Constitution of Society. Outline of the theory or structuration. Cambridge: Polity:[https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=cV8xnSla0IC&oi=fnd&pg=PR13&dq=Giddens,+A.+\(1984\).+The+Constitution+of+Society.+Outline+of+the+theory+or+structuration.+Cambridge:+Polity&ots=Ay-8Yn7w04&sig=arBovpgMZFEqntPgyG0RI39dSQY#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=cV8xnSla0IC&oi=fnd&pg=PR13&dq=Giddens,+A.+(1984).+The+Constitution+of+Society.+Outline+of+the+theory+or+structuration.+Cambridge:+Polity&ots=Ay-8Yn7w04&sig=arBovpgMZFEqntPgyG0RI39dSQY#v=onepage&q&f=false)

Guillen, A., Cerna, E., & Valenzuela, J. (2011). Nociones Introductorias de Muestreo Estadístico (Introductory Notions of Statistical Sampling), 6(1), 89–105.

GRIJALVO, J.M., (2000), El transporte y la utopía. Diario de Ibiza, 3 de mayo de 2000.

Horák J, Šeděnková M, Horáková B (2008) Public transport accessibility based on time schedule analyses. In: Svatoňová H et al Geography in Czechia and Slovakia. Theory and practice at the onset of 21st Century. Brno, p 500. ISBN:978-80-210-4600-9

Iberoamericanos, E. (2016). Abril de 2016.

Indicadores, P. D. E., & Urbana, D. E. S. (2010). PLAN DE INDICADORES.

Informe de Gestión Metro Cali S.A. Vigencia 2015. Metrocali: <http://www.metrocali.gov.co/cms/assets/descargas/Informe-de-gestin/1.-Informe-de-Gestion-2015-Metro-Cali-S.A.2.pdf>

Informe de Movilidad. (2014), Cali como vamos. <http://www.calicomovamos.org.co/movilidad>

Iniciativa urbana indicadores de sostenibilidad urbana. Centro Municipal de Informática del Ayuntamiento de Málaga.

Investigación: Relación entre variables cuantitativas 1/8. (2001), 1–8.

- Izquierdo, R. Transporte un Enfoque Integral. España: ETS DE INGENIEROS DE CAMINOS, 1994.
- Kopits, E., Cropper, M. (2005). Traffic fatalities and economic growth. *Accident Analysis and Prevention*, 37, 169-178.
- La mala hora del transporte masivo en Colombia (2016). *Revista Semana*: <http://www.semana.com/economia/articulo/transmilenio-y-transporte-masivo-en-riesgo-de-colapsar/480146>
- La Rosa, D., 2014. Accessibility to greenspaces: GIS based indicators for sustainable planning in a dense urban context. *Ecological Indicators* 42, 122-134.
- Lopez, M. (2007). Lineamientos conceptuales y metodológicos del sistema de indicadores ambientales Amazonias en el marco del programa regional de monitoreo ambiental. Instituto amazonico de investigaciones científicas Sinchi, 154.
- Loyola, C. Infraestructura vial y niveles de accesibilidad entre los centros poblados y los centros de actividad economica en la provincia de ñuble, viii region. Universidad del Bío-Bío.
- Madrid Soto, Adriana and Ortiz López, Lina María (2005) Análisis y síntesis en cartografía: algunos procedimientos. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, capítulo 3.
- Madrid Soto, Adriana and Ortiz López, Lina María (2005) Análisis y síntesis en cartografía: algunos procedimientos. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, capítulo 5.
- Manaugh, K., Badami, M. G., & El-geneidy, A. M. (2015). Integrating social equity into urban transportation planning: A critical evaluation of equity objectives and measures in transportation plans in North America. *Transport Policy*, 37, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.09.013>
- Mavoa, S., Witten, K., McCreanor, T., O'Sullivan, D. (2012). GIS based destination accessibility via public transit and walking in Auckland, New Zealand, *Journal of Transport Geography* 20 15–22.
- Mejía-Dugand, S., Hjelm, O., Baas, L. & Ríos, R. A. (2013). Lessons from the spread of Bus Rapid Transit in Latin America. *J. Clean. Prod.*, 50: 82-90. doi:10.1016/j.jclepro.2012.11.028
- Montiel, J., Serrano, S., López. (2006). El Algoritmo de Dijkstra y un Sistema de Información Geográfica para la Generación de Rutas de Viaje.
- Montgomery, D., Runger, G., 2005. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. 2ª. Ed, 458–465.
- Parras, M & Gómez, E, (2015). Tiempo de viaje en transporte público. Aproximación conceptual y metodológica para su medición en la ciudad de Resistencia. *Revista Transporte y Territorio* /13 (2015) ISSN 1852-7175.

Plan Integral de Movilidad Urbana (PIMU 2028):
http://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/103061/implementacion_pimu_vision/

Preston, J., & Rajé, F. (2007). Accessibility , mobility and transport-related social exclusion, *15*, 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.05.002>

Reisi, M., Aye, L., Rajabifard, A., & Ngo, T. (2016). Land Use Policy Land-use planning : Implications for transport sustainability, *50*, 252–261.

Rosales, J. C. (2003). Aplicaciones estadísticas en las Ciencias Sociales, 1–6.

Santiago, D. E. T. D. E., & Mio, D. E. C. (2006). Documento Técnico Revisión de parámetros operacionales del MIO.

Segado, F., García, A., Rosique, C., 1996. Ordenación del Territorio. Universidad de Murcia. LIBRO <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=2gx6AlQbH0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Segado,+F.,+Garc%C3%ADa,+A.,+Rosique,+C.,+1996.+Ordenaci%C3%B3n+del+Territorio.+Universidad+de+Murcia&ots=ipSOe-W5R4&sig=dE3N5LGA4ORbxUQ64DamzXn2f6w#v=onepage&q&f=false>

Seguí, J.Y., Petrus, J., 1991. Geografía de las Redes de Transporte. Espacio y Sociedad, Ediciones Síntesis, Madrid.

Seguí, J., Martínez, M. (2003). Pluralidad de métodos y renovación conceptual en la geografía de los transportes del siglo XXI. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. ISSN: 1138-9788. Vol. VII, núm. 139: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-139.htm>

Seguí Pons, J.M. y Martínez Reynes, M. R. (2004): Geografía de los Transportes, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca, 444 pp

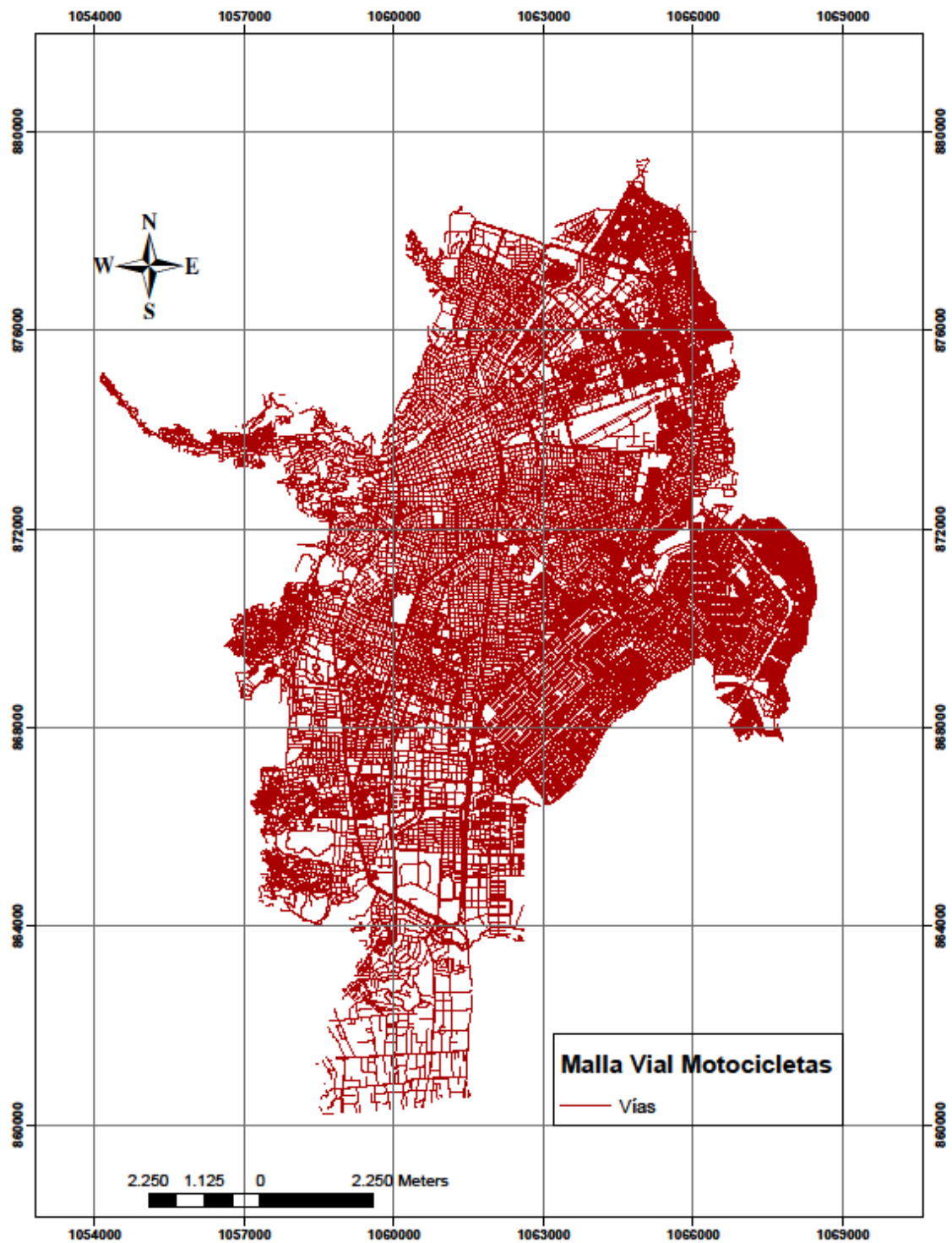
Shu-xi, W. (2012). Procedia Engineering The Improved Dijkstra's Shortest Path Algorithm and Its Application, *29*, 1186–1190. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.110>

Talamantes, S., & Superior, B. E. (2006). El Algoritmo de Dijkstra y un Sistema de Información Geográfica para la Generación de Rutas de Viaje, 60–67.

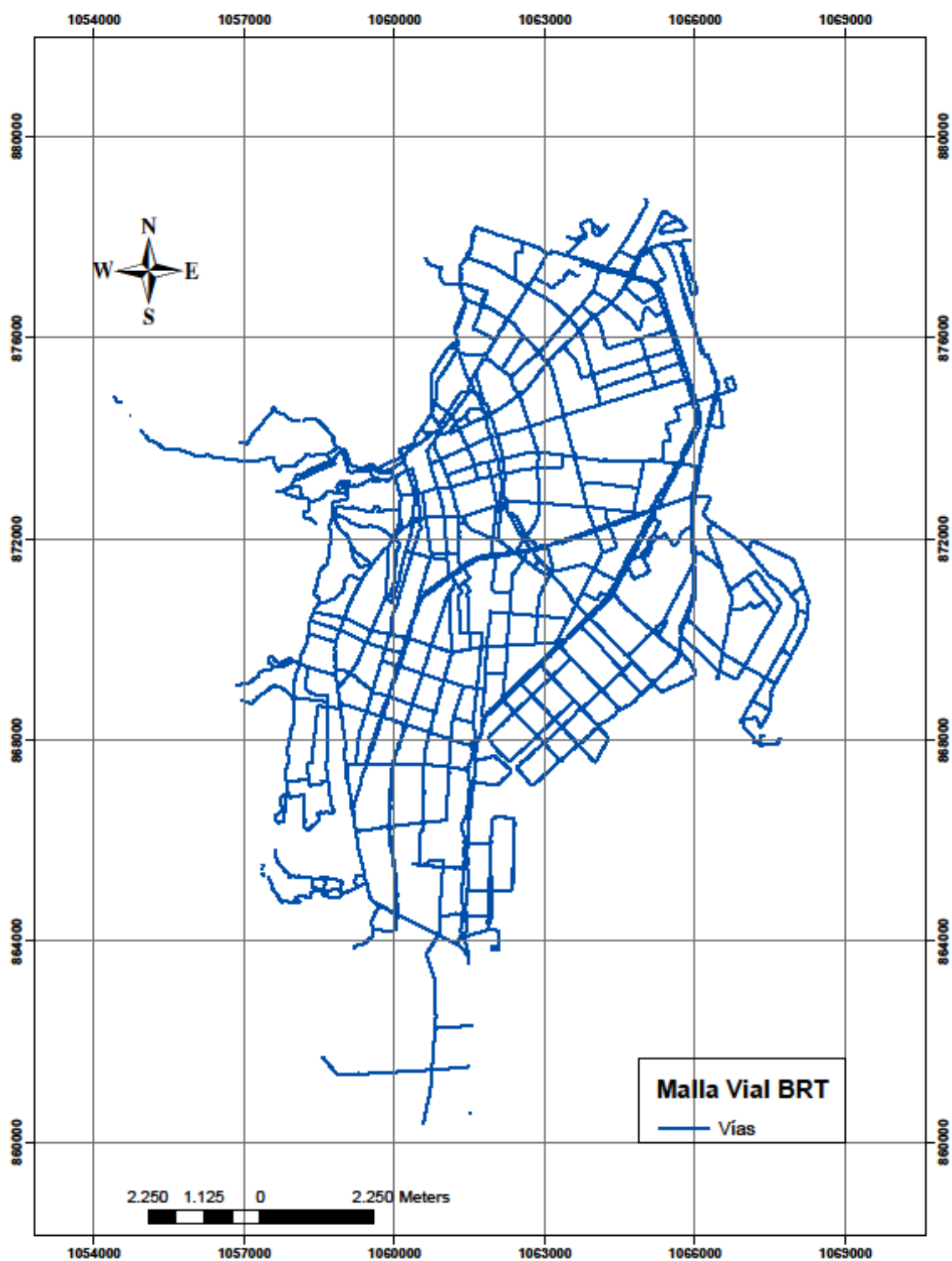
Vanderbulcke, G., Steenberghen, T., Thomas, I. (2009). Mapping accessibility in Belgium: A tool for land-use and transport planning? *J. of Transport Geogr.*, *17*(1), 39-53.

Vega,P. (2006). La accesibilidad del transporte en autobús: Diagnóstico y soluciones. <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0528801.pdf>

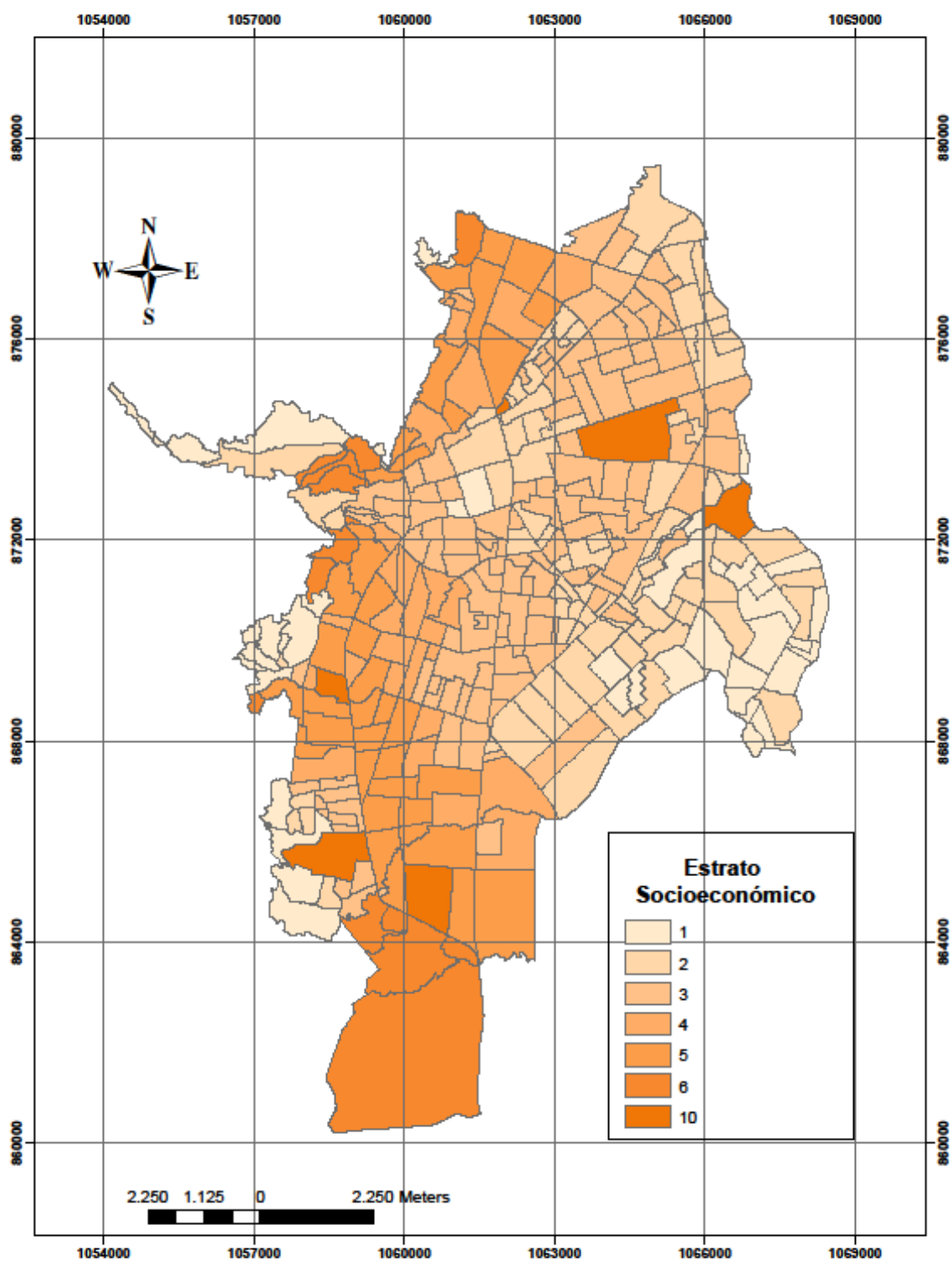
12. ANEXOS



Anexo 1. Malla vial para motocicletas en la ciudad de Cali

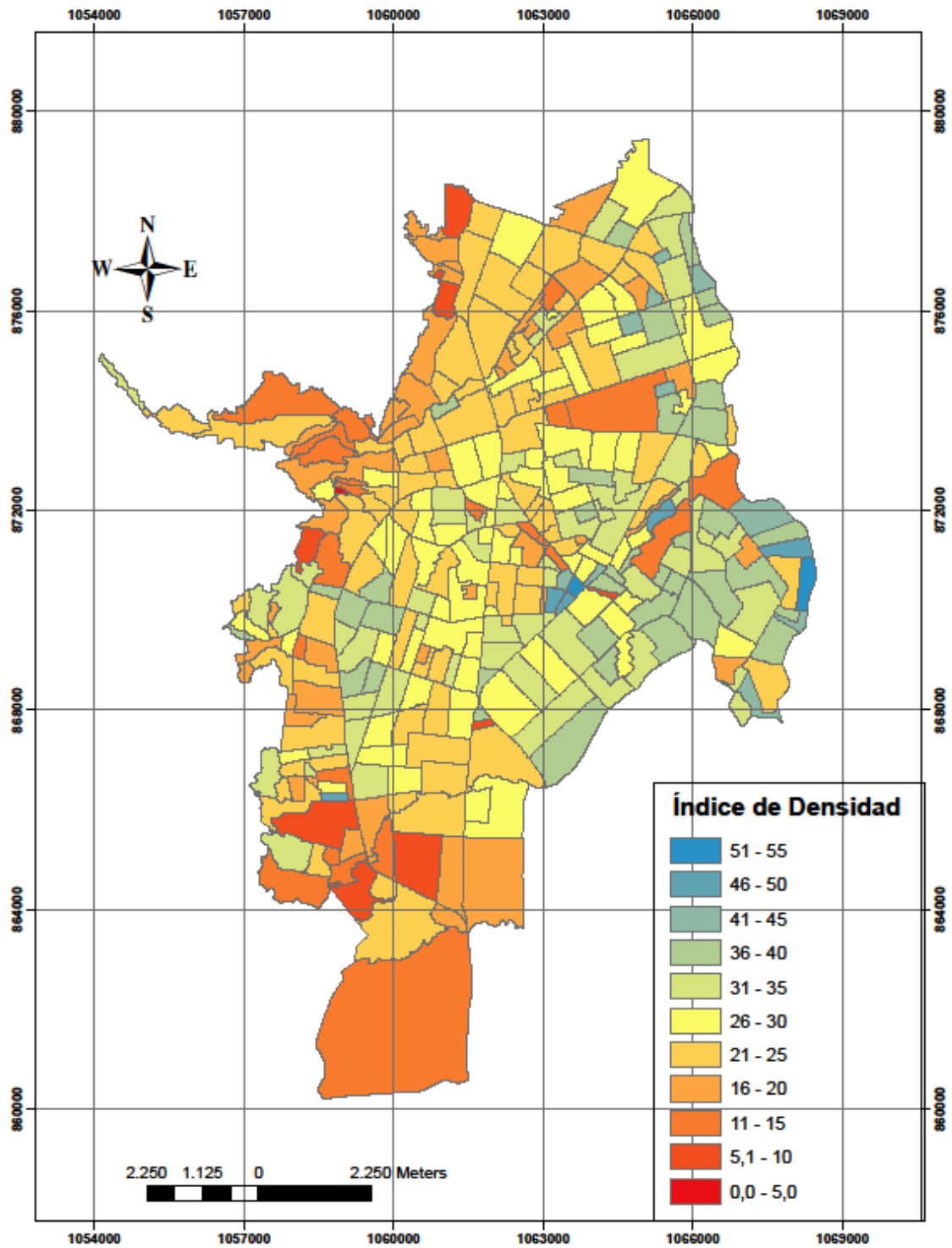


Anexo 2. Malla vial para BRT en la ciudad de Cali

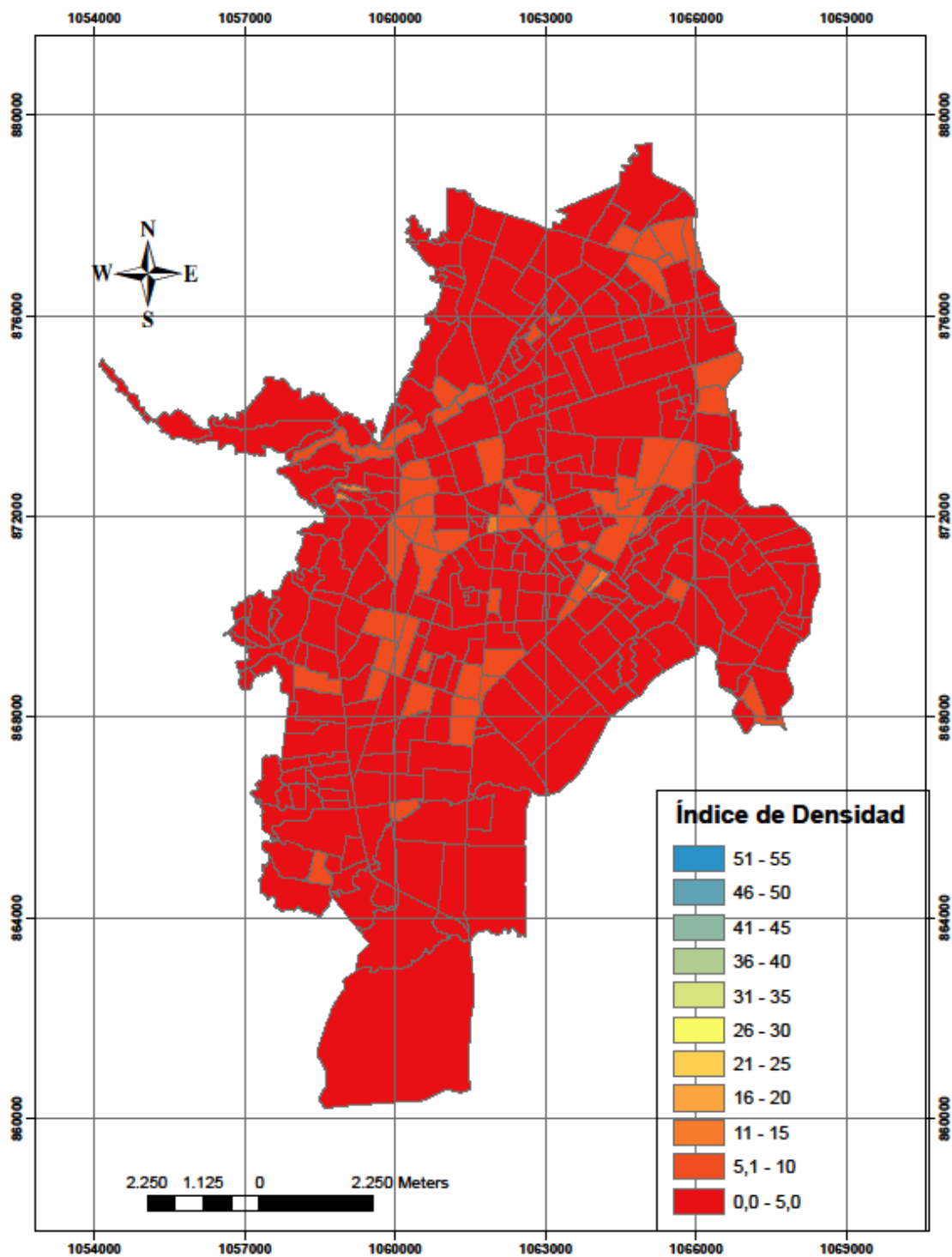


Anexo 3. Estrato socioeconómico en la ciudad de Cali

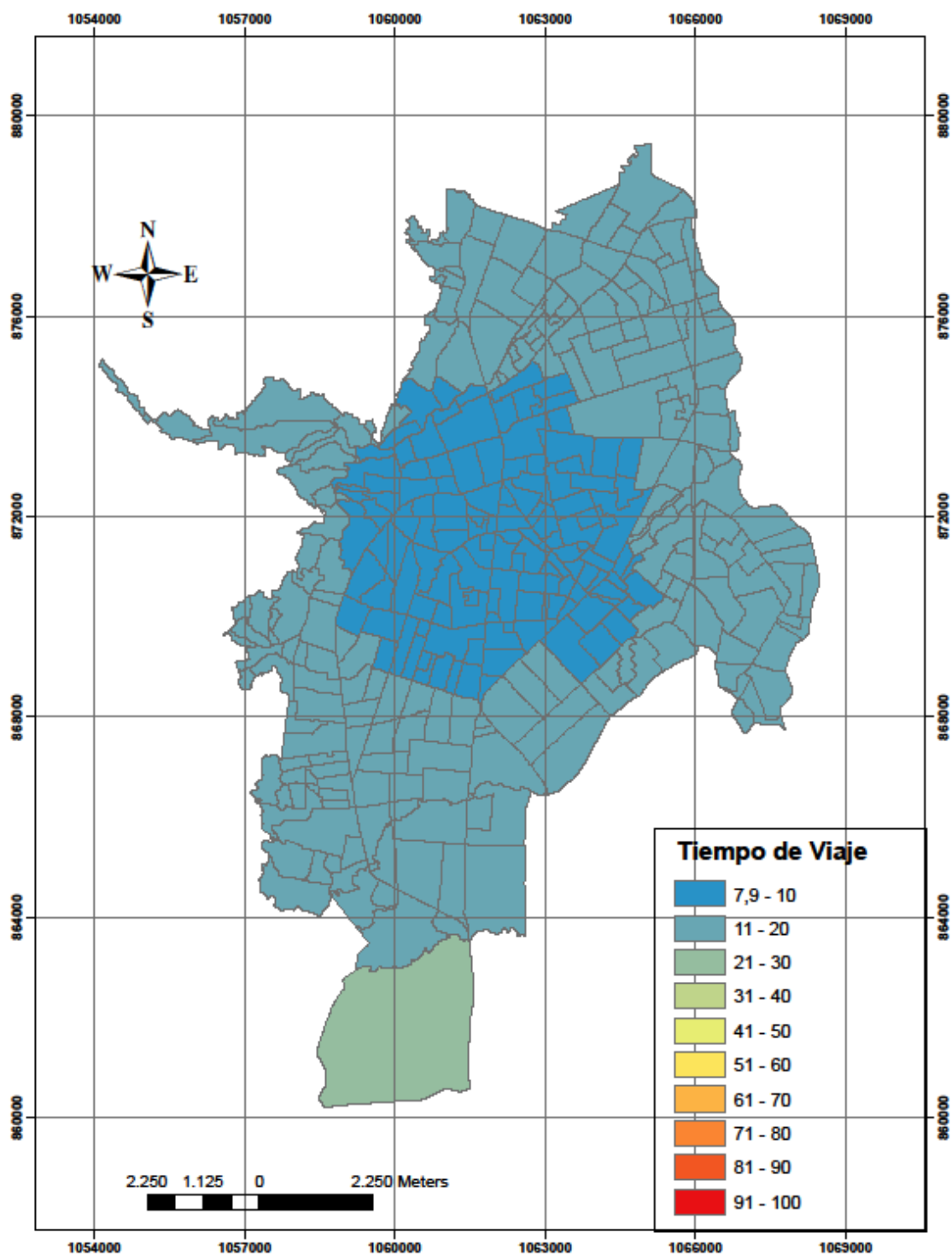
1.



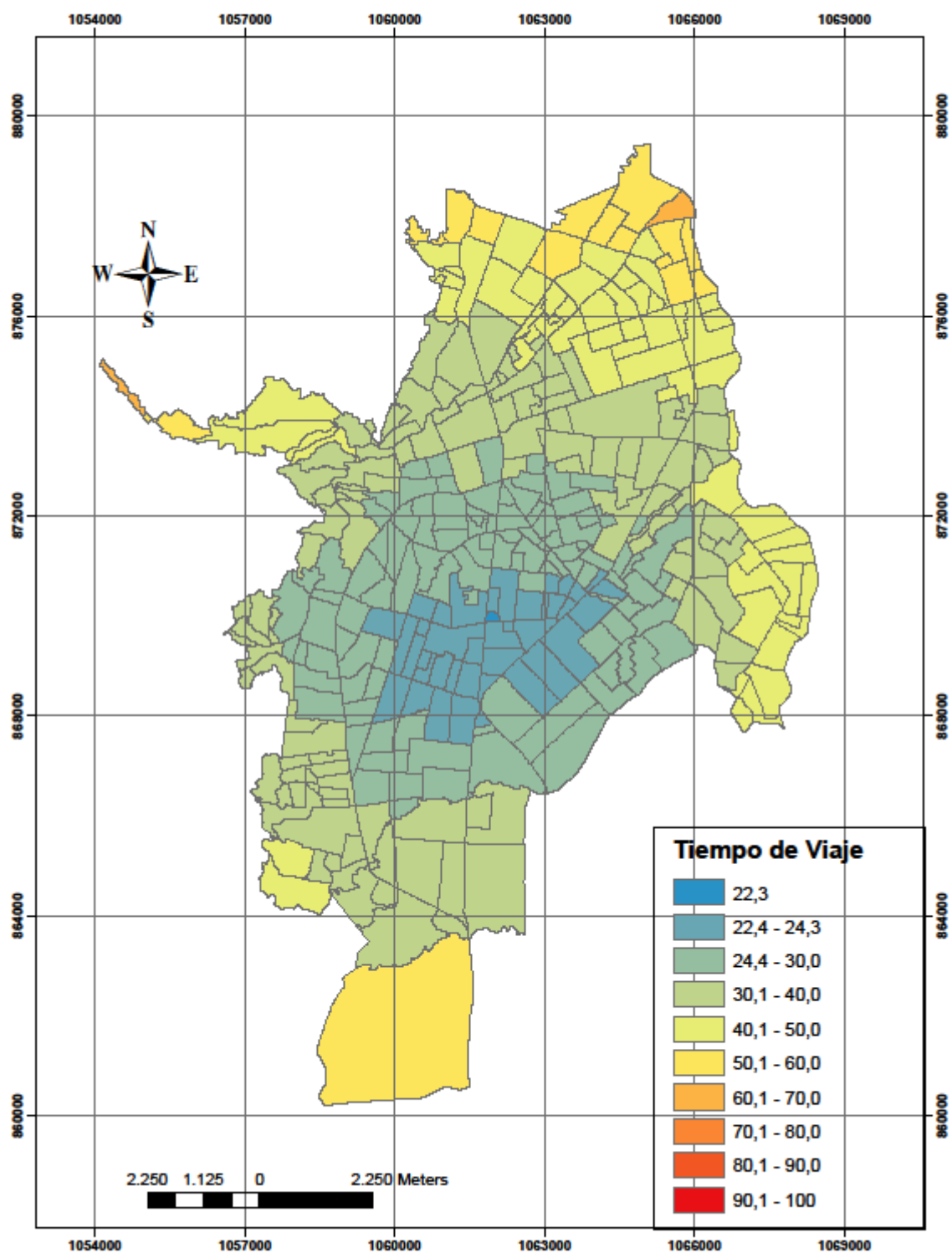
Anexo 4. Índice de Densidad para las motocicletas con intervalos por km de vía



Anexo 5. Índice de Densidad para el BRT con intervalos por km de vía



Anexo 6. Tiempo para las motocicletas con intervalos en minutos



Anexo 7. Tiempo para el BRT con intervalos en minutos