



Clasificación de zonas urbanas para atención con *cargo bikes* en la distribución urbana
de mercancías mediante *clustering*

Sara Catalina Santander Villamizar

Tesis de maestría presentada para optar al título de Magíster en Ingeniería

Asesor / Coasesora

Juan Guillermo Villegas Ramírez, Doctor (PhD) / Olga Cecilia Úsuga Manco, Doctor
(PhD)

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

Cita	(Santander Villamizar, 2022)
Referencia	Santander Villamizar, S. C. (2022). <i>Clasificación de zonas urbanas para atención con cargo bikes en la distribución urbana de mercancías mediante clustering</i> [Tesis de maestría]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Maestría en Ingeniería, Cohorte XXXII.

Grupo de Investigación Analítica e Investigación para la Toma de Decisiones (ALIADO).



Centro de Documentación Ingeniería CENDOI

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Mario Alberto Gaviria Giraldo.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de Contenido

Capítulo 1	9
Introducción	9
1.1 Revisión de la literatura.....	11
1.1.1 <i>Cargo bikes</i>	11
1.1.2 Aplicación del uso de <i>cargo bikes</i> en el mundo	14
1.1.3 <i>Cargo bikes</i> en Colombia.....	17
1.2 Planteamiento del problema	19
Capítulo 2	21
Metodología.....	21
2.1 Identificación de las zonas.....	22
2.2 Identificación de clúster	22
2.3 Enrutamiento en las zonas.....	22
2.4 Medición de desempeño	22
Capítulo 3	24
Caso de estudio en la ciudad de Medellín	24
3.1 Identificación de las zonas.....	24
3.2 Identificación de clúster	29
3.2.1 Análisis descriptivo.....	30
3.2.2 Análisis clúster.....	39
3.3 Enrutamiento de las zonas.....	46
3.4 Medición - indicadores de desempeño	51

3.4.1 Consumo de energía.....	51
3.4.2 Tiempo total de la ruta	54
3.4.3 Distancia total recorrida.....	56
Capítulo 4	57
Conclusiones	57
Referencias	59
Capítulo 5	64
Anexos	64

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Cargo bikes</i> disponibles en Colombia. Fuente: elaboración propia.....	18
Tabla 2. Variables de interés	29
Tabla 3. Cantidad de negocios de cada barrio y número de rutas a trazar.....	47
Tabla 4. Ruta 2 - Bolivariana	50
Tabla 5. Energía consumida por <i>cargo bike</i> versus vehículo convencional.	53
Tabla 6. Comparación tiempos de ruta entre una <i>cargo bike</i> y un vehículo convencional	55
Tabla 7. Tipos de <i>cargo bikes</i> . Fuente: (Angus, 2015)	65
Tabla 8. Características generales de los casos de estudio.....	67
Tabla 9. Ruta 1 - Belén	68
Tabla 10. Ruta 3 – Bolivariana 2.....	69
Tabla 11. Ruta 4 – Poblado 1.....	71
Tabla 12. Ruta 5 – Poblado 2.....	72
Tabla 13. Ruta 6 – Poblado 3.....	74
Tabla 14. Ruta 7 – Poblado 4.....	75
Tabla 15. Ruta 8 – Poblado 5.....	76
Tabla 16. Ruta 9 – Poblado 6.....	77

Tabla 17. Ruta 10 – Florida Nueva	78
Tabla 18. Ruta 11 – La Candelaria 1.....	80
Tabla 19. Ruta 12 – La Candelaria 2.....	81
Tabla 20. Ruta 13 – Laureles 1.....	83
Tabla 21. Ruta 14 – Laureles 2.....	84
Tabla 22. Ruta 15 – Naranjal	85
Tabla 23. Ruta 16 – Patio Bonito.....	86
Tabla 24. Ruta 17 – San Joaquín	88
Tabla 25. Ruta 18 – Suramericana	89
Tabla 26. Ruta 1 – La Florida 1	91
Tabla 27. Ruta 2 – La Florida 2.....	92
Tabla 28. Ruta 3 – Las Acacias.....	93
Tabla 29. Ruta 4 – Las Lomas No1	95
Tabla 30. Nivel de significancia de las variables de estudio comparadas con los diferentes clúster.....	96

Índice de Figuras

Figura 1. Bicicleta de reparto tipo panadera en Buenos Aires (Brooke, 2007).	11
Figura 2. Modelo <i>IBullitt</i> de <i>cargo bike</i>	12
Figura 3. Ciclo logística, tipos de vehículos.....	12
Figura 4. Ejemplos de bicicletas utilizadas por DHL y un triciclo de carga utilizado por Outspoken Delivery. Fuente: (Schliwa et al., 2015).....	13
Figura 5. Etapas de la metodología	21
Figura 6. Herramientas de tratamiento de datos.....	25
Figura 7. Sector económico sector de la salud	26
Figura 8. Sector económico hospitales	26
Figura 9. Sector económico panaderías	26
Figura 10. Sector económico restaurantes	26
Figura 11. Sector económico colegios	26
Figura 12. Sector económico universidades	26
Figura 13. <i>Box plot</i> comparativo entre variable panaderías y las comunas de Medellín	31
Figura 14. <i>Box plot</i> comparativo entre variable hoteles y las comunas de Medellín	31
Figura 15. <i>Box plot</i> comparativo entre variable restaurantes y las comunas de Medellín	32

Figura 16. <i>Box plot</i> comparativo entre variable bares y las comunas de Medellín.....	32
Figura 17. <i>Box plot</i> comparativo entre variable centros comerciales y las comunas de Medellín...	33
Figura 18. <i>Box plot</i> comparativo entre variable supermercados y las comunas de Medellín	34
Figura 19. <i>Box plot</i> comparativo entre variable hospitales y las comunas de Medellín.....	35
Figura 20. <i>Box plot</i> comparativo entre variable cuidado de la salud y las comunas de Medellín...	35
Figura 21. <i>Box plot</i> comparativo entre variable farmacias y las comunas de Medellín	36
Figura 22. <i>Box plot</i> comparativo entre variable ciclovías y las comunas de Medellín	37
Figura 23. <i>Box plot</i> comparativo entre variable parqueaderos y las comunas de Medellín.....	37
Figura 24. <i>Box plot</i> comparativo entre variable accidentes en bicicleta (anual) y las comunas de Medellín.....	38
Figura 25. <i>Box plot</i> comparativo entre variable ciclovías cercanas a 80mt y las comunas de Medellín.....	38
Figura 26. <i>Box plot</i> comparativo entre variable ciclovías cercanas a 160 mt y las comunas de Medellín.....	39
Figura 27. <i>Box plot</i> comparativo entre variable ciclovías cercanas a 240 mt y las comunas de Medellín.....	39
Figura 28. Índices de Hubert y Dindex	Figura 29. Número óptimo de clúster.....
40	40
Figura 30. Vista 1 clúster 2	41
Figura 31. Vista 2 clúster 2	41
Figura 32. Vista 1 clúster 3	42
Figura 33. Vista 2 clúster 3	42
Figura 34. Clústeres categoría alimentos	43
Figura 35. Clústeres categoría salud.....	43
Figura 36. Clústeres categoría movilidad	Figura 37. Clústeres categoría comercio
44	44
Figura 38. Clústeres categoría movilidad, accesos a ciclovías de los negocios.....	44
Figura 39. Clústeres categoría otros	45
Figura 40. Ruta 2 – Bolivariana	49
Figura 41. Diagrama de cuerpo libre ciclista. Fuente: elaboración propia.....	51
Figura 42. Ruta 1 – Belén	67
Figura 43. Ruta 3 – Bolivariana 2	69
Figura 44. Ruta 4 – Poblado 1	70
Figura 45. Ruta 5 – Poblado 2	71
Figura 46. Ruta 6 – Poblado 3	73
Figura 47. Ruta 7 – Poblado 4	74
Figura 48. Ruta 8 – Poblado 5	76
Figura 49. Ruta 9 – Poblado 6	77

Figura 50. Ruta 10 – Florida Nueva.....	78
Figura 51. Ruta 11 – La Candelaria 1.....	79
Figura 52. Ruta 12 – La Candelaria 2.....	80
Figura 53. Ruta 13 – Laureles 1.....	82
Figura 54. Ruta 14 – Laureles 2.....	83
Figura 55. Ruta 15 – Naranjal.....	85
Figura 56. Ruta 16 – Patio Bonito.....	86
Figura 57. Ruta 17 – San Joaquín.....	87
Figura 58. Ruta 18 – Suramericana.....	88
Figura 59. Ruta 1 – La Florida 1.....	90
Figura 60. Ruta 2 – La Florida 2.....	91
Figura 61. Ruta 3 – Las Acacias.....	92
Figura 62. Ruta 4 – Las Lomas No1.....	94

Índice de Anexos

Anexo 1. Tipos de <i>cargo bikes</i> . Fuente: (Angus, 2015).....	65
Anexo 2. Características generales de los casos de estudio.....	67
Anexo 3. Ruta 1 - Belén.....	68
Anexo 4. Ruta 3 – Bolivariana 2.....	69
Anexo 5. Ruta 4 – Poblado 1.....	71
Anexo 6. Ruta 5 – Poblado 2.....	72
Anexo 7. Ruta 6 – Poblado 3.....	74
Anexo 8. Ruta 7 – Poblado 4.....	75
Anexo 9. Ruta 8 – Poblado 5.....	76
Anexo 10. Ruta 9 – Poblado 6.....	77
Anexo 11. Ruta 10 – Florida Nueva.....	78
Anexo 12. Ruta 11 – La Candelaria 1.....	80
Anexo 13. Ruta 12 – La Candelaria 2.....	81
Anexo 14. Ruta 13 – Laureles 1.....	83
Anexo 15. Ruta 14 – Laureles 2.....	84
Anexo 16. Ruta 15 – Naranjal.....	85
Anexo 17. Ruta 16 – Patio Bonito.....	86
Anexo 18. Ruta 17 – San Joaquín.....	88

Anexo 19. Ruta 18 – Suramericana.....	89
Anexo 20. Ruta 1 – La Florida 1	91
Anexo 21. Ruta 2 – La Florida 2	92
Anexo 22. Ruta 3 – Las Acacias	93
Anexo 23. Ruta 4 – Las Lomas No1	95
Anexo 24. Nivel de significancia de las variables de estudio comparadas con los diferentes clúster.....	96

Capítulo 1

Introducción

La urbanización ha sido uno de los fenómenos predominantes en el cambio económico y social del siglo XX. Las estadísticas de la ONU demuestran que la urbanización de la población mundial ha venido en crecimiento en los últimos años (Wilmsmeier et al., 2015) y se espera que en el 2030 el 66% de la población se encuentre viviendo en las ciudades, en especial en las grandes urbes (Wilmsmeier et al., 2015).

A medida que los países empiezan a tener un crecimiento económico y la industria toma fuerza, las personas consideran el hecho de mudarse a las áreas urbanas. Esto tiene como consecuencia una alta densidad poblacional que a su vez lleva a un aumento en los niveles de ruido, en el alto flujo vehicular y en la contaminación ambiental. La gran cantidad de personas que habitan las ciudades transforman el comercio, lo cual, hace que la logística interna de estas sea compleja y esto lleva a que las ciudades se tengan que repensar para lograr satisfacer las necesidades de los ciudadanos. Las ventas por internet, los domicilios y el comercio electrónico son las formas de vida que las personas adoptan acoplándose al ritmo acelerado de las ciudades evitando eventos que generen estrés como los trancones y las filas.

En este contexto, los transportes alternativos, como la bicicleta, han emergido gracias a su papel en la descongestión vehicular, en la promoción de estilos de vida saludable, en el uso del espacio público (zonas de parqueo) y en la reducción del impacto ambiental (dos Anjos Ferreira & Frias, 2020). Otros beneficios que se logran destacar con el uso de vehículos de transporte alternativo son la reducción de los costos operativos y el aumento del porcentaje de utilización de la carga útil promedio (Gutiérrez Rubiano, 2020).

En Europa existen diversos estudios del uso de *cargo bikes* en ciudades como Bruselas. Por ejemplo, Rai (2019) analizó las variables que influyen en las entregas de carga en las ciudades y su impacto en la adopción de medios alternativos (como las *cargo bikes*). En Reino Unido, Schliwa et al (2015) demostraron que el uso de transporte de pequeñas dimensiones como lo son los *cargo bikes*, bicicletas eléctricas y motos mejoran la circulación del tránsito en las ciudades. De manera similar, en la ciudad de New York Conway et al (2012) mejoraron la logística de entregas con *cargo bikes* y también con triciclos eléctricos. Para esto se realizó

un estudio de las ventajas y problemas que se tendría al implementar este medio de transporte de mercancía.

Así como los anteriores estudios analizan el uso de la bicicleta existen otros más que destacan y muestran las características de los procesos de entrega de carga por medio de este medio alternativo de transporte (Cairns & Sloman, 2019). Sin embargo, no se encuentra información suficiente sobre metodologías para determinar las zonas que son aptas para ser usadas por *cargo bikes* como medio de entrega de carga.

Hasta ahora, todo apunta a que los análisis de los beneficios que traen las *cargo bikes* en la distribución se hacen de manera posterior a la elección de las zonas en las que se utilizarán (dos Anjos Ferreira & Frias, 2020) (Vasiutina et al., 2021) y se centran en los procesos de planeación de las entregas una vez elegida la zona (Anderluh et al., 2019). Si bien la elección de las zonas es una decisión que se toma con antelación a la puesta en marcha de un proyecto logístico, no encontramos en la literatura metodologías que elijan dichas zonas apoyadas en herramientas cuantitativas y computacionales. Es justo allí donde se abre una ventana a este vacío del conocimiento el cual, puede ser bastante beneficioso en cualquier proceso logístico.

Un ejemplo de lo anterior es el más reciente estudio de uso de transporte alternativo en la ciudad de Medellín (Gonzales Calderon et al., 2022), este trabajo se centró en un estudio de recolección de datos basados en encuestas. Como resultado obtuvieron datos de interés para futuros estudios tales como aspectos socioeconómicos y topográficos de la zona en la que se realizan las entregas con *cargo bikes*. Sin embargo, dichas variables no son usadas como base inicial en el proceso de elección de la zona a atender, justamente lo que este trabajo pretende destacar como oportunidad de investigación con una metodología para la elección de dichas zonas.

Por lo tanto, este trabajo pretende diseñar una metodología para elegir qué zona de la ciudad es apta para realizar entregas de última milla con *cargo bikes* que integra sistemas de información geográfica (SIG), métodos estadísticos y de clasificación (análisis de clúster) y modelos para el enrutamiento de vehículos. Además, se busca la mejor ruta para que las *cargo bikes* realicen sus entregas teniendo en cuenta las características de la zona y posteriormente se verifica por medio de indicadores de las rutas el impacto que este medio alternativo de transporte de entrega representa en las zonas elegidas.

El presente documento está dividido en cuatro secciones: revisión de la literatura, metodología, resultados en un caso de estudio en la ciudad de Medellín y finalmente, las conclusiones y oportunidades de trabajo futuro extraídas a través de la experiencia de su desarrollo.

1.1 Revisión de la literatura

1.1.1 *Cargo bikes*

La bicicleta ha existido desde hace más de 100 años, desde su inicio con el alemán *Karl von Drais* con la conocida *vélocipède* (Léo, 2021) que dio inicio a lo que hoy conocemos como bicicleta. Con el paso de los años tras la necesidad de volver más eficientes los procesos el hombre se ha encargado de idearse formas de transportarse más robustas. En particular, las bicicletas de carga tienen origen en los Países Bajos a principios del siglo XX donde los comerciantes adecuaron una canasta (Figura 1) en la bicicleta para entregar leche y pan (Angus, 2015).



Figura 1. Bicicleta de reparto tipo panadera en Buenos Aires (Brooke, 2007).

Como en todos los procesos, el hombre intenta optimizarlos para obtener mejores resultados según la actividad que ejerza. En la actualidad existen bicicletas de carga más modernas las cuales pueden funcionar por medio de fuerza asistida por personas o por sistemas eléctricos. Por ejemplo, en el caso de las *cargo bikes* existe un modelo llamado *iBullitt* (Figura 2) el cual cuenta con una caja de carga y asistencia eléctrica (DW, 2013).



Figura 2. Modelo *IBullitt* de *cargo bike*

En logística existe un término llamado “ciclo logística” en el cual se engloban las operaciones de entrega de mercancía en todos los tipos de pedales independiente del número de ruedas que tenga, algunos ejemplos son la bicicleta, las *cargo bike*, los triciclos de carga (Schliwa et al., 2015) y los cuadríciclos (Velove Bikes AB, 2022). La Figura 3 presenta características de estos tipos de vehículos y la Figura 4 presenta ejemplos del uso de bicicletas en diversas industrias.

Ciclo logística -Tipos de vehículos			
Bicicletas	<i>Cargo bikes</i>	Triciclos de carga	Cuadríciclos de carga
*Dos ruedas *Sin caja de carga *Con asistencia eléctrica o no	*Dos ruedas *Con caja de carga *Con y sin asistencia eléctrica	*Tres ruedas *Con caja de carga *Con y sin asistencia eléctrica	*Cuatro ruedas *Con caja de carga *Con y sin asistencia eléctrica

Figura 3. Ciclo logística, tipos de vehículos



Figura 4. Ejemplos de bicicletas utilizadas por DHL y un triciclo de carga utilizado por Outspoken Delivery. Fuente: (Schliwa et al., 2015).

Las *cargo bikes* traen una variedad de beneficios como poder transitar por lugares donde los vehículos convencionales no lo pueden hacer, reducen el impacto ambiental, generan costos de operación menores respecto a los vehículos convencionales y reducen tiempos de entrega (Cairns & Sloman, 2019). Además, también son silenciosas, flexibles y rápidas en calles estrechas y no generan congestión en espacios de parqueo vehicular (Anderluh et al., 2019).

Por otra parte, las *cargo bikes* también tienen algunas desventajas debido a su capacidad de carga y a su reducida capacidad en términos de distancia en comparación con los vehículos convencionales (Anderluh et al., 2019). Es por ello que al hacer uso de las *cargo bikes* se debe tener en cuenta estas características y se debe considerar una adecuada planificación en los modelos de entrega con este tipo de vehículos; para así poder ver en mayor medida las ventajas de usar este transporte alternativo.

Angus (2015) muestra cómo han evolucionado las *cargo bikes* y lo versátil que pueden llegar a ser como medio de transporte. Sin embargo, no se puede dejar de lado que en ocasiones la capacidad de carga de mercancía se convierte en un limitante, en menor medida, ya que algunas requieren un diseño especial según el tipo de producto a transportar y por supuesto una planeación de ruta apropiada (Anderluh et al., 2019).

Existen características comunes para las *cargo bikes* tales como: el tipo de carga, la capacidad de la carga, las dimensiones, la ubicación de la carga en la bicicleta e inclinación del terreno (Tabla 1). Esta última resulta bastante relevante cuando se trata de un transporte que es conducido a propulsión humana, lo cual influye a su vez en la cantidad

de energía usada por el conductor. Incluso en el caso de ser por asistencia eléctrica es necesario conocer la capacidad y tiempos de carga de la batería, la dimensión y peso de la batería (Fuellerer et al., 2010) y otros aspectos técnicos de la mercancía referentes a si se requiere refrigeración o no (Anderluh et al., 2019).

1.1.2 Aplicación del uso de *cargo bikes* en el mundo

A nivel mundial, Rai et al (2019) estudió los inconvenientes que tienen las *cargo bikes* para funcionar de manera adecuada. En Bruselas se promueven las entregas en bicicleta y existen muchos medios de transporte adaptados para llevar carga desde los vehículos convencionales de carga hasta las furgonetas eléctricas. En este contexto se analizaron por áreas los diferentes tipos de limitantes que tienen las *cargo bikes* y se logró concluir que las entregas se ven afectadas por cuatro determinantes: el tamaño del área de trabajo, la cantidad de paradas, los problemas en la entrega y las regulaciones urbanas. En general en Bruselas el mercado de distribución de carga esta principalmente dominado por los vehículos convencionales, sin embargo, también se promueve el uso de transportes alternativos. Así mismo, se describe que las políticas urbanas no se encuentran del todo comprometidas para que las *cargo bikes* logren reemplazar a los medios de transporte tradicionales por el contrario se evidenció que los transportadores convencionales obstaculizan su libre movimiento (Rai, Verlinde, & Macharis, 2019).

En otro caso de estudio, enfocado en mejorar los ciclos de transporte de última milla en el Reino Unido, Schliwa et al (2015) demostraron que el uso de transporte de pequeñas dimensiones como lo son las *cargo bikes*, bicicletas eléctricas y motos mejoran la circulación del tránsito en las ciudades. Este estudio también evidencia los problemas que se presentan para que la logística de los medios de transporte ligeros funcione. En primer lugar, las empresas tradicionales de transporte y su cultura se rehúsan a realizar cambios en su sistema de última milla, descartando el uso de bicicletas o autos eléctricos. En segundo lugar, la falta de infraestructura para permitir un mejor flujo de las bicicletas y más estaciones de carga de los vehículos eléctricos. Por último, las políticas de transporte se pueden mejorar para que se estimule el uso de transporte eléctrico, como por ejemplo la baja de los aranceles de importación.

De manera similar, en la ciudad de New York, Conway et al (2012) realizaron un estudio para analizar las ventajas y desventajas que se tendría al implementar cargo bikes y triciclos eléctricos como medio de transporte de mercancía. En este estudio se concluyó que es necesario la implementación de los triciclos eléctricos o incluso entregas a pie ya que el tránsito se colapsa para las entregas de última milla. A pesar de que en New York está limitado el uso de los triciclos el uso de este medio de transporte podría disminuir el tiempo de entrega ya que puede penetrar con mayor facilidad las calles estrechas de la ciudad y tiene un fácil estacionamiento en comparación con los vehículos convencionales.

Por su parte, otras investigaciones han tratado de responder si es efectivo el transporte de carga en bicicletas y como añadirlo a la logística de última milla. Maes et al (2012) estableció algunas de las ventajas de las *cargo bikes* en el contexto belga, entre las que se cuentan: sus rápidas entregas a precios razonables y la reducción de emisiones de CO₂. Por otra parte, se destaca un estudio similar, pero en el contexto holandés, con el transporte en bicicleta se ahorrarían 8,5 millones de litros de combustible al año lo que implica una reducción de 21000 toneladas de CO₂ (Maes et al., 2011). Sin embargo, también aparecen desventajas, por ejemplo: que las empresas de transporte en bicicletas son pequeñas haciendo que el empleo no sea fijo para los *couriers*; se tienen limitaciones de distancia y capacidad para las entregas; y por último, estas empresas por lo general no se encuentran conectadas con la red global. Sin embargo, esto último sería una posibilidad de mercado ya que se llegó a la conclusión que si lograban integrar sus servicios a empresas grandes se podría profesionalizar sus servicios con la ventaja de una entrega rápida de última milla e incluso se afirma que podría ser el eslabón inicial de la red logística, es decir la primera milla.

En Suramérica también se ha estudiado la logística de última milla desde la perspectiva de la sostenibilidad. Tal es el caso de Brasil, donde de Mello Bandeira et al (2019) expone cuales serían los medios de transporte alternos que se pueden tener en la logística de última milla en la ciudad de Rio de Janeiro. En este trabajo se conciliaron los aspectos económicos, ambientales y sociales en la elección de alternativas para entregas de última milla, que es la contribución innovadora de esta investigación. Además, abordaron las ganancias de sostenibilidad asociadas con el uso de vehículos eléctricos en la última milla de un servicio postal de entrega en la ciudad de Rio de Janeiro. Los resultados indicaron que el uso del triciclo eléctrico es una mejor alternativa en los aspectos económicos, ambientales y sociales y que el uso de triciclos eléctricos no necesita incentivos públicos. Una limitación de este

trabajo es que no se tuvo en cuenta las *cargo bikes* lo cual haría una diferencia grande con los triciclos eléctricos ya que estos requieren más inversión inicial, mantenimiento y carga eléctrica en comparación con las *cargo bikes*.

Recientemente, en la ciudad de Bogotá la Secretaria de Movilidad lanzó un proyecto piloto llamado “Bici carga, distribución eficiente y ecológica”. Este proyecto cuenta con la participación de una dupla de empresas y un operador logístico que buscan en términos políticos ayudar a formular marcos que regulen el uso de la bicicleta de carga y traiga consigo beneficios, dar a conocer este vehículo como medio alternativo, entre otros resultados (Bicicarga Bogotá, 2021).

Autores más recientes, han podido estudiar de manera bastante amplia los impactos que trae consigo hacer uso de *cargo bikes* desde una mirada global. Vasiutina et al (2021) menciona algunas ventajas como son: la baja necesidad de espacio para estacionamiento, la reducción de emisiones, los bajos costos de mantenimiento, la reducción de congestión vehicular, el ahorro en costos de combustible, entre otras. Dichos autores señalan también algunas desventajas que puede traer este tipo de vehículo como las bajas velocidades y la reducida capacidad solo por nombrar algunas. Por otra parte, también mencionan el papel importante que tienen las empresas y el Estado para buscar estrategias e influir para lograr hacer más deseados estos modelos con políticas y regulaciones que beneficien y reconozcan el uso de estos modelos de entrega. En este estudio se mencionan modelos de ruteo y además indicadores que permiten evaluar la efectividad de hacer uso de *cargo bikes* en una ciudad. Sin embargo, en su revisión de actualizada de los trabajos no se menciona la existencia de metodologías para escoger la zona a ser atendida lo cual deja un vacío en este aspecto.


Después de analizar los casos de estudio de aplicación de la logística urbana haciendo uso de vehículos alternativos se logra identificar que aún existe un sector económico el cual no ha sido lo suficientemente explorado como lo son los productos de consumo masivo o empresas productoras. Adicionalmente a esto, no ha sido objeto de estudio en la logística urbana, de entregas con *cargo bikes* o cualquier otro tipo de vehículo de transporte alternativo (triciclos de cargas, cuadriciclos, entre otros), la identificación de las zonas que serán usadas para realizar entregas con estos vehículos alternativo. Por el contrario, los estudios se centran en el ruteo de las zonas, ventajas del uso de este medio de transporte, reducción de emisiones, disminución de costos y mejora del sistema de entrega como lo dejan

ver los trabajos más recientes (Vasiutina et al., 2021). En el anexo 2 en la Tabla 8 se describen algunos de los principales hallazgos de los estudios mencionados anteriormente, con el fin de identificar características importantes como: tipos de vehículos usados y en el tipo de servicio que se aplicó.




1.1.3 Cargo bikes en Colombia

En el caso de Colombia, actualmente se encuentran en el mercado diferentes tipos de *cargo bikes* los cuales tiene tamaños estándar y capacidades definidas. Sin embargo, existen algunas empresas que fabrican estas *cargo bikes* a necesidad lo cual hace mucho más versátil la bicicleta en el mercado. La Tabla 1 presenta cuatro modelos disponibles con distintos proveedores del mercado local. Cabe destacar que se describen las *cargo bike* como una bicicleta de carga con variedad de diseños que van entre 2, 3 y 4 ruedas.¹

De la Tabla 1 se puede identificar que para Colombia la capacidad de carga de las *cargo bikes* disponibles oscila entre 80 kg y 300 kg, además es de destacar que cada una de las empresas que ofrecen *cargo bikes* ofrecen el servicio de personalización y diseño de la bicicleta a la necesidad del cliente lo cual las convierte en versátiles y de fácil acceso. Sin embargo, para las *cargo bikes* de línea que se ofrecen en promedio tiene una dimensiones de 90 cm de largo por 90 cm de ancho.

Empresa	Tipo de carga	Capacidad de carga	Dimensiones L (largo), A (ancho) y P(profundidad)	Precio	Foto
Encargo Bicicletas	Carga delantera	80kg	L: No especifica A: No especifica P: No especifica	\$1.599.000	

¹En adelante usaremos el término *cargo bike* de manera general para referirnos a entregas con vehículos alternativos de este tipo sin importar la configuración específica del vehículo (número de ruedas, asistencia eléctrica o no, capacidad de carga, etc.)

Satelite	Carga delantera	450 kg	L: 65 cm A: 85 cm P: No especifica	No descrito	
Satelite	Furgón de carga	200 kg	L: 120 cm A: 100 cm P: No especifica	No descrito	
Ecotricilos	Furgón Trasero	300 kg	L: 100 cm A: 100 cm P: 100 cm	No descrito	

OTROS

Existen algunas otras empresas que ofrecen *cargo bikes* o triciclos de carga en Colombia, sin embargo no describen las características.

Nombre	Foto	Página web
Suburban Cargo Bike		https://www.facebook.com/SuburbanCargoBike
Pargal	 	http://www.pargal.co/
Lola		https://lola.com.co/

Tabla 1. *Cargo bikes* disponibles en Colombia. Fuente: elaboración propia

1.2 Planteamiento del problema

Con el aumento de la densidad poblacional en las zonas urbanas la contaminación ambiental se ve directamente afectada. Por esto se busca cada día formas de reducir la contaminación y encontrar formas alternas para contribuir con esta reducción.

Una alternativa que se ha explorado ha sido el uso de *cargo bikes* como medio de transporte alternativo en las entregas. Muchos estudios recientes, como la de Maes 2011, se han centrado en buscar que el uso de las *cargo bikes* reduzcan costos, reduzcan contaminación, entregas más rápidas, y algunas otras ventajas (Maes et al., 2011). Muchas otras investigaciones, como la de Rai 2019, han examinado las ventajas y desventajas del uso de *cargo bikes* como por ejemplo las limitantes en cuanto el área de trabajo, cantidad de paradas, regulaciones urbanas, entre otras (Rai et al., 2019) y en paralelo otros investigadores que han estudiado el tema han llegado a conclusiones diferentes respecto a las ventajas del uso de *cargo bikes*. Sin embargo, todas estas conclusiones se basan en estudios realizados a posteriori de la elección de la zona que será atendida con este tipo de vehículos, por ejemplo algunos hallazgos de estos casos de estudio, como Rai (2019), demuestran que la eficiencia de distribución de paquetes negocio a consumidor se ve afectada por cuatro factores determinantes: volumen de paquetes, densidad de paradas, fallas en la entrega y regulación urbana, también se descubre que la distribución de paquetes en Bruselas está dominada por vehículos y modos de operación convencionales, pero las regulaciones y políticas promueven el uso de microcentros en combinación con bicicletas de carga en un futuro cercano.

Sin embargo, estos estudios no han logrado reconocer la importancia que hay en la elección de la zona para que las *cargo bikes* realicen las entregas, se ha prestado menos atención a este tema el cual cobra importancia en este estudio. Es por esto que el propósito de esta investigación es el diseño de un método que permita analizar las zonas de una ciudad para seleccionar las que serán atendidas en sus entregas de mercancía con este tipo de transporte alternativo. Esta investigación aporta además a llenar un vacío que se encuentra en el uso de las *cargo bikes* como medio de transporte en la entrega de última milla. Hasta ahora, todo apunta a que los análisis de la zona se hacen posterior y no con antelación a la puesta

en marcha de un proyecto logístico, o por lo menos no existe documentación acerca del tema, y es justo allí donde se abre una ventana del conocimiento que permita que en cualquier proceso logístico pueda validarse el uso de este medio de transporte. Vale la pena nombrar, que este estudio no se centra en algún sector en específico pues la propuesta metodológica trata al sector económico como una variable de estudio la cual permite analizarla y decidir qué productos serían adecuados para atender con *cargo bikes* con base en la cantidad de negocios de un determinado sector en cada zona de la ciudad bajo estudio. Sin embargo, como se menciona en secciones anteriores vale la pena en estudios futuros explorar el sector de consumo masivo la cual no ha sido ampliamente investigado en la entrega con vehículos alternativos como las *cargo bikes*, triciclos de carga o cuatriciclos.

Así mismo, de los múltiples actores involucrados en la logística urbana (clientes/residentes, generadores de carga/compañías/, operadores logísticos, autoridades locales, etc.) (Taniguchi & Tamagawa, 2005) en la metodología propuesta adoptamos la postura de un generador de carga u operador logístico que quiere atender a los clientes de la manera más eficiente posible usando una flota de *cargo bikes* o vehículos similares en su operación de última milla.

Capítulo 2

Metodología

El método propuesto se divide en cuatro fases: identificación de zonas, agrupación de clúster y ruteo de zonas. Cada una de las fases está apoyada en distintos software y lenguajes de programación. En la primera fase se identifican las zonas de la ciudad a través de un sistema de información geográfico (SIG) con el cual se recopilan las variables de interés. Esta recopilación de datos se realiza en el software OpenStreetMap (OSMF, 2004). Luego, la base de datos con las variables de interés de las zonas de la ciudad se utiliza para realizar análisis descriptivos estadísticos y de agrupación en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2021). Estas agrupaciones permiten identificar las zonas que pueden ser aptas para la atención con *cargo bikes*. Finalmente, para validar la selección de las zonas se realiza un enrutamiento de entrega en dichas zonas el cual se compara con entregas en zonas no seleccionadas a través de indicadores de medición de las rutas. Para la construcción de las rutas se hace uso de la aplicación de enrutamiento VRPSolver (Erdoğan, 2017). La Figura 5 resume las etapas de la metodología y sus actividades.



Figura 5. Etapas de la metodología

A continuación, se describe brevemente cada una de las etapas.

2.1 Identificación de las zonas: En esta etapa se pretende identificar que zonas de una ciudad son aptas para ser atendidas por medio de *cargo bikes* a través del análisis de los variables de interés de los barrios de la ciudad a estudiar. Todo lo anterior fue analizado mediante la plataforma de mapas libre OpenStreetMap (OSM) donde se extrajo la información de las variables de interés de cada barrio, la herramienta web de minería de datos para OSM Overpass turbo donde se exportó toda la información en formato de lectura tipo capa para ser leída y analizada la información en el SIG abierto Qgis. Al final del análisis se obtiene una base de datos con información de los barrios de la ciudad de análisis con variables de interés.

2.2 Identificación de clúster: En esta etapa se analizan los variables de interés de los barrios de la zona de estudio por medio de análisis descriptivo para conocer el comportamiento de éstas previo al análisis multivariado a través de metodologías como análisis de clúster.

A partir de este análisis se obtendrán los barrios aptos para ser atendidos según características en común que los hagan atractivos para su atención con *cargo bikes*, por ejemplo: cercanía de los comercios a las ciclo-rutas, bajas pendientes, alta densidad de comercios susceptibles de ser atendidos con entrega en *cargo bikes*, número de hurtos en la zona, cantidad de ciclovías, niveles de accidentalidad, densidad poblacional, y nivel socioeconómico. Todo lo anterior es analizado definiendo como unidad observacional a los barrios de la ciudad de estudio.

2.3 Enrutamiento en las zonas: Una vez definidos los barrios aptos para ser atendidos por medio de *cargo bikes* según análisis de clúster en la etapa anterior se diseña la ruta de entrega a muestras de comercios ubicados en los barrios seleccionados por medio de la herramienta abierta de enrutamiento VRP Solver (Erdoğan, 2017). Para validar la eficiencia de la elección de los barrios se analizan varios escenarios de barrios, entendiéndose escenario como las diferentes rutas en cada barrio, que se encuentren dentro del clúster para poder valorar las diferencias, en consumo de energía y otros indicadores entre las rutas ejecutadas con *cargo bikes* y con vehículos convencionales en los barrios seleccionados.

2.4 Medición de desempeño: Para evaluar las rutas se definen tres indicadores que evalúan la eficiencia de la propuesta:

- **Consumo de energía:** cantidad de energía consumida por una persona en la entrega de mercancía por medio de *cargo bikes* en una ruta definida (KJ).
- **Tiempo total de la ruta:** cantidad de tiempo que tomaría la realización de una ruta definida usando una *cargo bike* (min).
- **Distancia total de la ruta:** total de metros recorridos por una *cargo bike* en una ruta definida (km).

Capítulo 3

Caso de estudio en la ciudad de Medellín

La ciudad de Medellín se ha convertido en una gran urbe en donde se mueven diariamente todo tipo de cargas debido a la cantidad de empresas ubicadas en la ciudad las cuales aumentaron en un 10.6% con respecto al 2020 (Jiménez, 2022). Con todo esto, la ciudad de Medellín se ha venido congestionando con un variado tipo de modos de transporte de carga terrestre intraurbano los cuales van desde tractocamiones hasta motocicletas. Esto genera en la ciudad un aumento en la congestión vehicular, creación de alertas climáticas al menos dos veces por año, sensación de aumento de temperatura e imposición de nuevas normas de transporte como el pico y placa (SMM, 2021). Sin embargo, en la actualidad muy poca carga es movida en *cargo bikes*, tal como lo indican Gonzalez Calderón et al (2018).

Así, el desarrollo económico con sostenibilidad en Colombia y específicamente de una ciudad como Medellín se debe realizar con miras a la mitigación de dos grandes problemas: la contaminación del aire y la congestión vehicular. Esto conduce a un pensamiento en el cual todas las cargas que se mueven diariamente en la ciudad sigan llegando cumplidas a su destino con medios de transporte alternativos y amigables con el medio ambiente y que además sirvan de apertura para una movilidad fluida en sectores que hoy se consideran puntos críticos de movilidad.

3.1 Identificación de las zonas

Este trabajo está centrado en la identificación de zonas de las ciudades a partir de las variables de interés que describan las zonas como aptas o no para distribuir productos por medio de *cargo bikes*. Las variables de interés identificadas para cada barrio de Medellín son: actividad económica, pendiente del terreno, nivel de ingreso del hogar, población, número de ciclovías, hurto de bicicleta, promedio de accidentes en bicicleta en el año y algunas otras calculadas a partir de las variables de interés ya mencionados como el número de negocios de cada barrio a menos de 80 metros 160 metros y 240 metros (1, 2 y 3 cuadras aproximadamente) de una ciclo ruta. Estas variables son la resultante de analizar la información extraída de los sistemas de información usados (*OpenStreetMap* y *Overpass*) y realizando una depuración de datos para poder tener datos significativos y veraces.

Sistema de información geográfica SIG

Como primer paso, se identificaron las actividades económicas activas en el sector industrial de Colombia y que pueden ser aptas para que en sus procesos logísticos de entregas puedan ser atendidos con *cargo bikes* apoyados en el tipo de producto a entregar. La información se extrae del DANE (de Bogotá, 2020) y el sector a atender es una de las variables que se analizan dentro del desarrollo de la metodología, escogiendo los sectores con mayor densidad de ciertas actividades económicas. Basados en las actividades económicas se inicia la búsqueda de la información de las variables de interés para los barrios de Medellín, para ello se hace uso del sistema de información *OpenStreetMap* por medio del cual se pueden acceder a la información por *tags* o etiquetas del atributo deseado. Para el caso de estudio se lograron extraer 21 etiquetas inicialmente. Después de obtener dichas etiquetas se hace uso de *Overpass turbo* que permite encontrar las variables de los tags de interés, esta herramienta permite descargar archivos de extensión *shape* para que puedan ser leídos en sistemas de información geográfica.

Posteriormente, estas variables de interés son leídas y analizadas en el sistema *Qgis*. El cual permite la lectura, visualización gráfica y procesamiento de la información por medio de mapas que, para el caso de estudio, fueron estructurados con la superposición de capas vectoriales de tipo lineal, poligonal y de puntos. La Figura 6 resume las etapas de extracción y análisis de la información geográfica de los barrios de la ciudad.

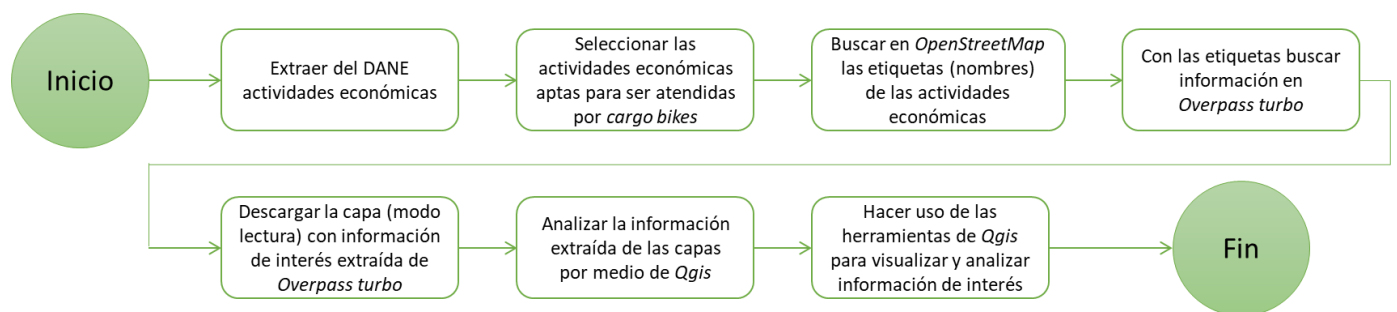


Figura 6. Herramientas de tratamiento de datos

En *Qgis* se visualizaron los atributos de las 23 variables escogidas (Tabla 2) en mapas de la ciudad de Medellín. A partir de esta visualización se evaluó que variables tenían suficiente información, y de interés entendiendo esto como las variables que aportan información

referente al caso de estudio como por ejemplo cantidad de negocios en cada barrio, ciclovías, entre otras. En las Figuras 7 a 12 se presentan algunos ejemplos de la visualización de las variables en el mapa de Medellín. En la Figura 7 se observa que los barrios de Medellín que cuentan con actividad económica del sector de la salud están mayormente ubicados en el centro de la ciudad (identificados con el color rojo más intenso) y que en las periferias de la ciudad se carece de este tipo de negocios (barrios con color blanco).

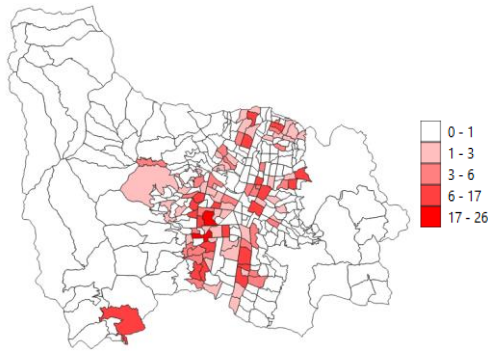


Figura 7. Sector económico sector de la salud

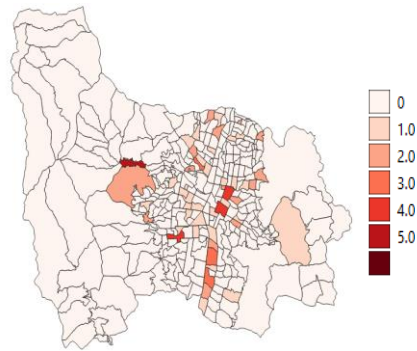


Figura 8. Sector económico hospitales

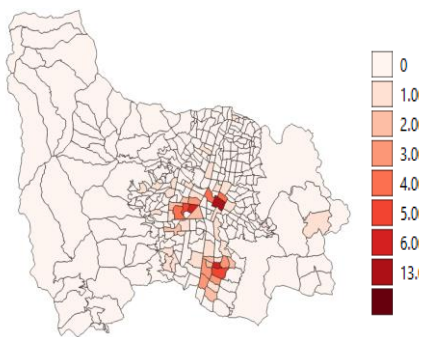


Figura 9. Sector económico panaderías

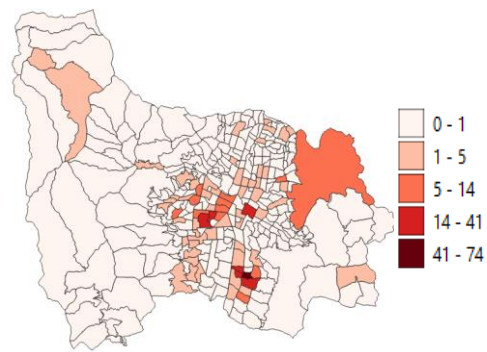


Figura 10. Sector económico restaurantes

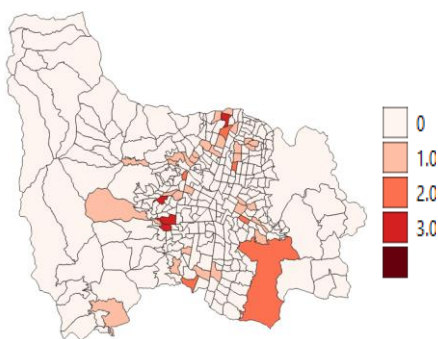


Figura 11. Sector económico colegios

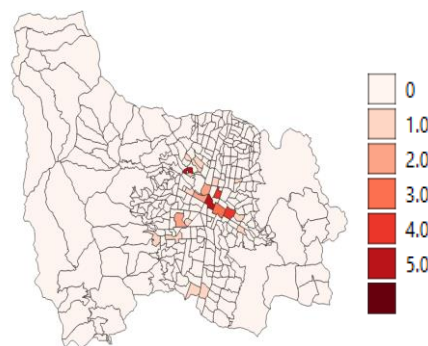


Figura 12. Sector económico universidades

Posterior a la visualización de cada una de las variables se determina cuáles de estos serían aptas para ser atendidos con *cargo bikes* y se descartan algunas como son número de los

colegios, universidades, guarderías, cajeros, veterinarias y algunas otras que por su actividad económica no serían un cliente habitual de las entregas por medio de *cargo bikes*. Finalmente quedan 15 variables para análisis, las cuales incluyen actividades económicas como restaurantes, hoteles, panaderías, bares, farmacias, hospitales, cuidados de la salud, centros comerciales y supermercados que según la literatura podrían ser atendidas con *cargo bikes*, teniendo en cuenta las características de cada producto para poder ser correctamente transportadas (Wrighton & Reiter, 2016).

A través de *Qgis* se crea la base de datos de los barrios de la ciudad de Medellín que contiene toda la información de las variables de interés para ser analizada. La base de datos final se obtuvo a través de herramientas de *Qgis* como, *bufers*, *joins*, disoluciones, cálculos de distancia, centroides y cálculos de coordenadas (latitud y longitud). La base de datos final quedó conformada por 23 columnas entre unidad experimental (barrios), variables de interés (descargadas de *Overpass turbo*), otras variables calculadas desde las herramientas *Qgis* (número de negocios cercanos a las ciclovías en radios de 80, 160 y 240 metros) y finalmente variables de interés extraídas de otras bases de datos que se consideraron importantes para el caso de estudio, la Tabla 2 resume cada una de las variables y sus fuentes de información.

Esta sección hace uso de múltiples herramientas para obtener información suficiente, confiable y real para tener una base de análisis. A partir de allí, obtener las variables que permitan describir la zona de análisis y que la decisión de atender dicha zona con *cargo bikes* sea basada en información fiable y lograr visualizar detalles de la zona que permitan realizar una adecuada planeación para una distribución de mercancías.

Categoría	Nombre de la variable	Descripción de la variable	Fuente
Unidad experimental	Barrio	Texto, nombre del barrio	Geomedellín
NA	Comuna	Texto, nombre de la comuna	Geomedellín
Alimentos	Restaurantes	Número entero, cantidad de restaurantes en un barrio	<i>Overpass turbo</i>

Alimentos	Panaderías	Número entero, cantidad de panaderías en un barrio	<i>Overpass turbo</i>
Alimentos	Hoteles	Número entero, cantidad de hoteles en un barrio	<i>Overpass turbo</i>
Alimentos	Bares	Número entero, cantidad de bares en un barrio	<i>Overpass turbo</i>
Salud	Farmacias	Número entero, cantidad de farmacias en un barrio	<i>Overpass turbo</i>
Salud	Hospitales	Número entero, cantidad de hospitales en un barrio	<i>Overpass turbo</i>
Salud	Cuidado de la salud	Número entero, cantidad de establecimientos pertenecientes al cuidado de la salud en un barrio	<i>Overpass turbo</i>
Comercio	Centros comerciales	Número entero, cantidad de centros comerciales en un barrio	<i>Overpass turbo</i>
Comercio	Supermercados	Número entero, cantidad de supermercados en un barrio	<i>Overpass turbo</i>
Movilidad	Ciclovías	Número entero, cantidad de ciclovías en un barrio	<i>Overpass turbo</i>
Movilidad	Parqueaderos	Número entero, cantidad de parqueaderos en un barrio	<i>Overpass turbo</i>
Movilidad	Pendientes	Número decimal, valor promedio de la pendiente de un barrio. Calculada a través de la herramienta de procesos de <i>Qgis</i> por medio del análisis de vector con el cálculo de distancia al eje más próximo entre los puntos de los comercios y el punto de la pendiente en esa zona.	Geomedellín
Movilidad	No de negocios con ciclovía	Número entero, cantidad de negocios en un barrio. Calculado con tabla dinámica.	<i>Overpass turbo</i>
Movilidad	Ciclovía a 80 mt	Número entero, cantidad de negocios que hay en un barrio a 80 metros (una cuadra aproximadamente) de una ciclovía. Calculado	<i>Overpass turbo</i>

			con herramienta de geoprocso de <i>Qgis</i> por medio de <i>Buffer</i> el cual procesa un área de influencia (buffer) para todos los objetos de una capa de entrada, usando una distancia fija o dinámica.	
Movilidad	Ciclovía a 160 mt	Número entero, cantidad de negocios que hay en un barrio a 160 metros (dos cuadras aproximadamente) de una ciclovía. Calculado con herramienta de geoprocso de <i>Qgis</i> por medio de <i>Buffer</i>	<i>Overpass turbo</i>	
Movilidad	Ciclovía a 240 mt	Número entero, cantidad de negocios que hay en un barrio a 240 metros (tres cuadras aproximadamente) de una ciclovía. Calculado con herramienta de geoprocso de <i>Qgis</i> por medio de <i>Buffer</i>	<i>Overpass turbo</i>	
Movilidad	Sentido de la ciclovía	Número entero, hace referencia a los sentidos de desplazamientos de las calles de ciclovía si es doble vía (2) si es una sola vía (1) o si tiene 3 carriles (3).	<i>Overpass turbo</i>	
Demográfica	Población	Número entero, cantidad de personas que viven en un barrio	Alcaldía de Medellín	
Demográfica	Estrato	Número entero, estrato socioeconómico de las personas que viven en un barrio	Alcaldía de Medellín	
Socioeconómica	Accidentes en bicicleta	Número entero, cantidad de accidentes en bicicleta en un año en cada barrio	Geomedellín	
Socioeconómica	Hurtos de bicicletas	Número entero, cantidad de hurtos de bicicletas en un año en cada barrio	SIJIN de la Policía Nacional	

Tabla 2. Variables de interés

3.2 Identificación de clúster

A partir de la base de datos obtenida en la sección anterior se realiza un análisis descriptivo y estadístico para identificar las características de las variables de interés. Inicialmente, los

barrios están agrupados según la división administrativa de la ciudad, es decir por comunas. Agrupación que si bien sirve para la administración pública no arroja información sobre la posibilidad de una determinada zona para ser atendida en *cargo bike*.

3.2.1 Análisis descriptivo

En este análisis se pretende determinar cómo se comportan las variables de interés en las diferentes comunas de la ciudad de Medellín. Es importante saber el comportamiento de las variables para identificar posibles productos o tipos de servicios que serán atendidos por medio de las *cargo bikes* y así enfocar mejor los esfuerzos del proyecto en que se tomen en cuenta características de las variables que aporten a la calidad y veracidad del trabajo propuesto.

Para el análisis las variables se agruparon en 4 categorías: alimentos, salud, comercio y movilidad, basados en la actividad económica de cada uno y visualizando el tipo de producto o servicio que se mueve en cada una de ellas para analizar cuáles de estos productos son más susceptibles de ser atendidos por *cargo bikes* según sus características físicas.

- **Categoría alimentos**

En las Figuras 13 a 16 se observa que en algunas comunas de Medellín como El Poblado y Laureles la actividad económica en el sector alimenticio es bastante alta pues se logra ver que existen datos que resaltan en comparación de las demás zonas. Por ejemplo, en la Figura 13, para el caso del sector panadero zonas como Buenos Aires, Castilla, AltaVista, San Cristóbal y Palmitas no tiene gran presencia de este tipo de productos.

En la Figura 14 se logra identificar un comportamiento muy marcado en donde para las comunas Belén, El Poblado, La Candelaria y Laureles Estadio la presencia del sector hotelero es grande. En las Figura 15 y Figura 16 comunas como El Poblado, La América, Laureles Estadio, La Candelaria, San Antonio de Prado y San Cristóbal destacan sobre las

demás comunas pues cuentan con una gran cantidad de restaurantes y bares con un promedio de 15 y 5 respectivamente para las figuras.

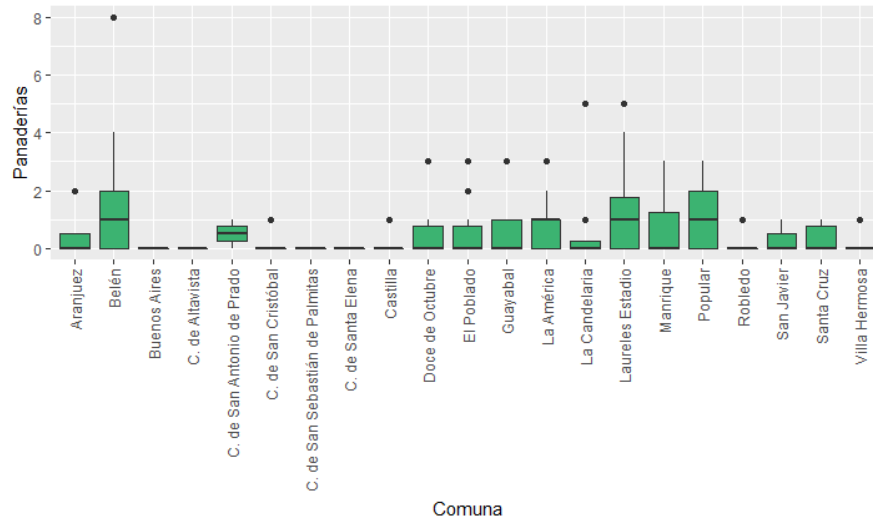


Figura 13. *Box plot* comparativo entre variable panaderías y las comunas de Medellín

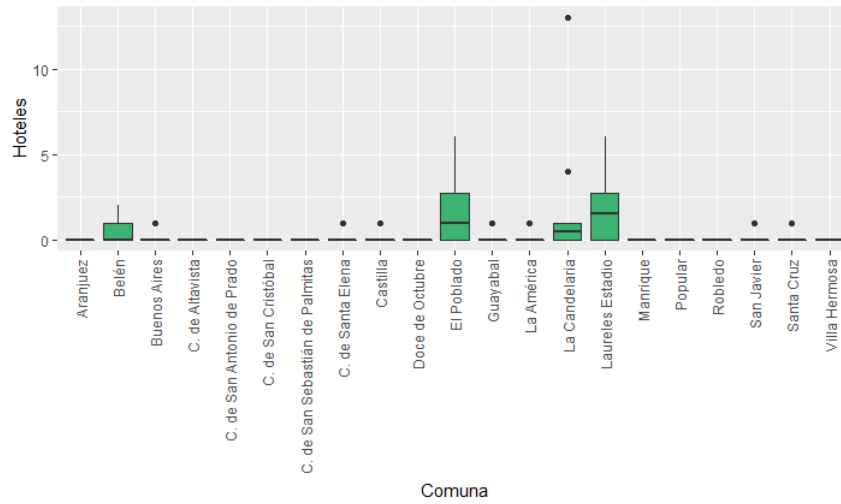


Figura 14. *Box plot* comparativo entre variable hoteles y las comunas de Medellín

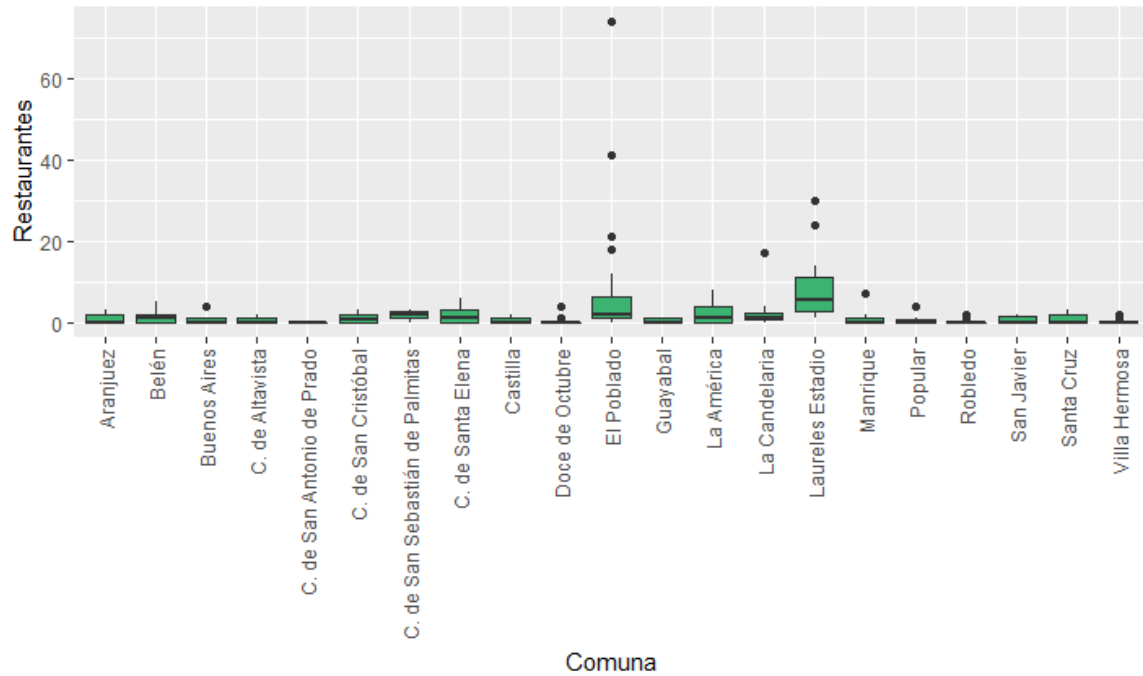


Figura 15. *Box plot* comparativo entre variable restaurantes y las comunas de Medellín

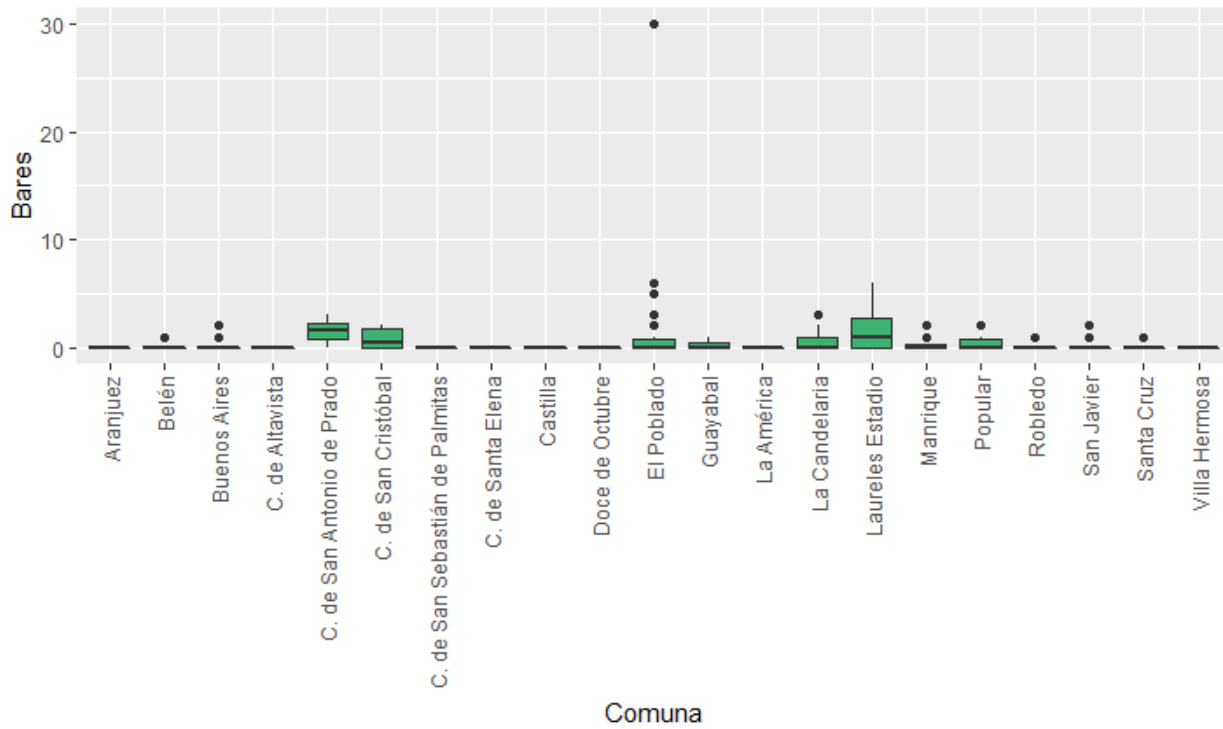


Figura 16. *Box plot* comparativo entre variable bares y las comunas de Medellín

- **Categoría comercio**

Para el caso donde hay actividad comercial de productos varios como en centros comerciales y supermercados las comunas que destacan son El Poblado, La Candelaria, Laureles Estadio como se aprecia en la Figura 17. Por su parte, en la Figura 18 se puede observar que para la mayoría de las comunas de Medellín se encuentra la presencia de al menos 1 supermercado a excepción de dos comunas donde no hay actividad registrada como supermercados oficiales.

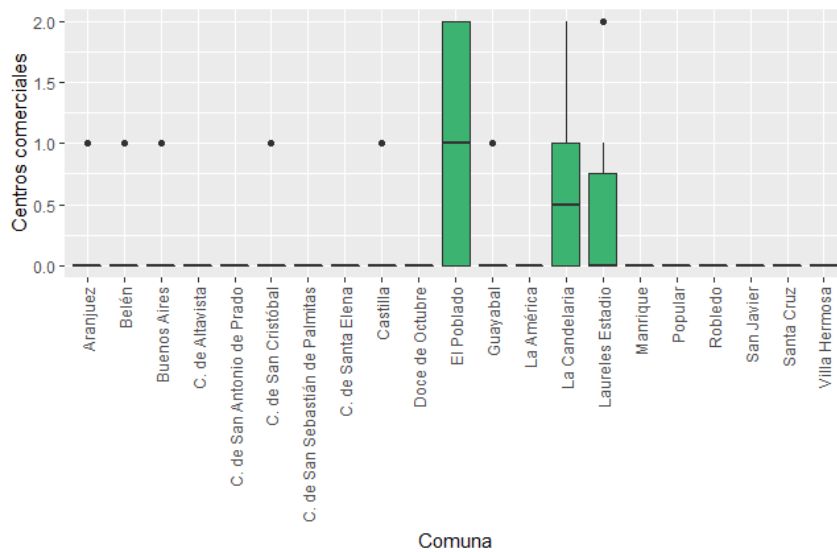


Figura 17. *Box plot* comparativo entre variable centros comerciales y las comunas de Medellín

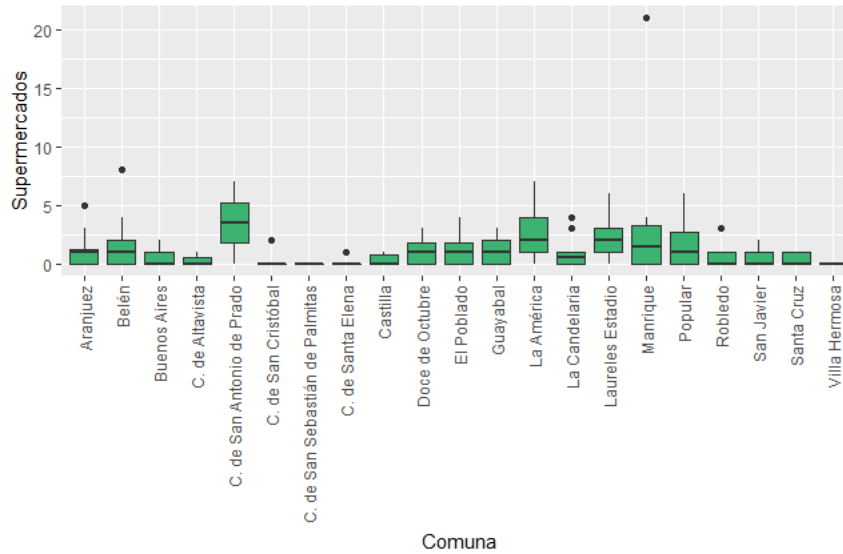


Figura 18. *Box plot* comparativo entre variable supermercados y las comunas de Medellín

- Categoría salud

En las Figura 19, 20 y 21 se observa como la actividad económica del sector de la salud esta mayormente marcada en algunas comunas ya sea por presencia de hospitales (Castilla, San Cristóbal, El Poblado, La Candelaria, Laureles Estadio, Manrique y Santa Cruz) o lugares relacionados con el cuidado de la salud (laboratorios, clínicas, farmacias, por nombrar algunos) que están mayormente marcados en La América y Laureles Estadio. Las Farmacias en la Figura 21 se ven con gran presencia en la mayoría de las comunas de Medellín.

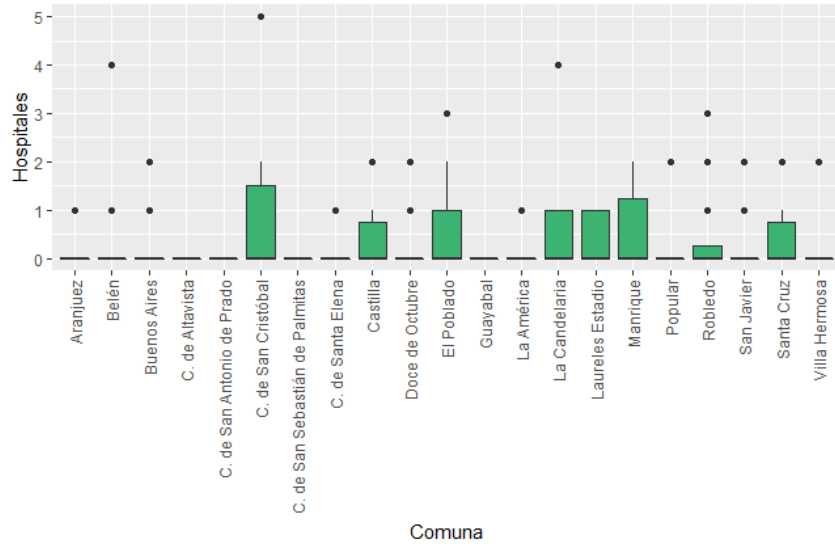


Figura 19. *Box plot* comparativo entre variable hospitales y las comunas de Medellín

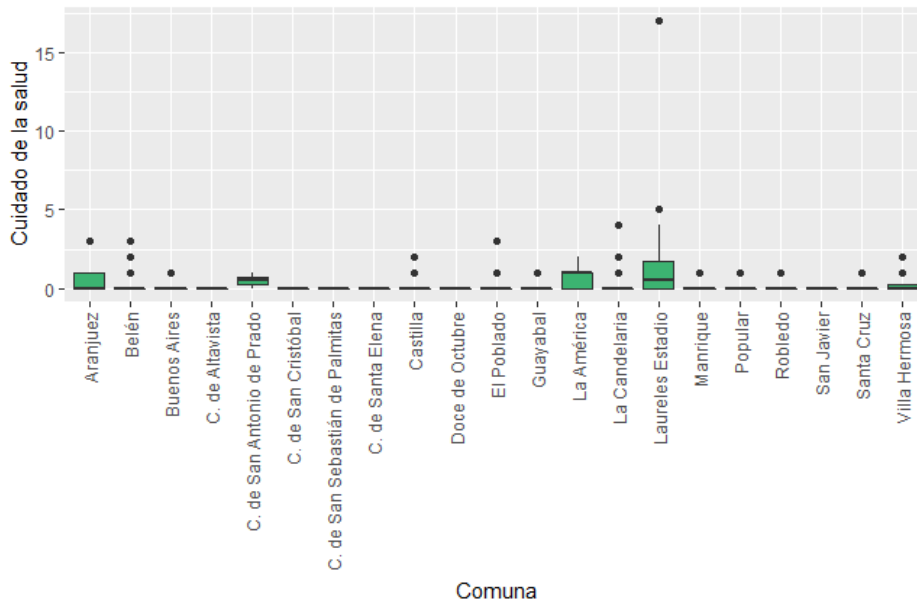


Figura 20. *Box plot* comparativo entre variable cuidado de la salud y las comunas de Medellín

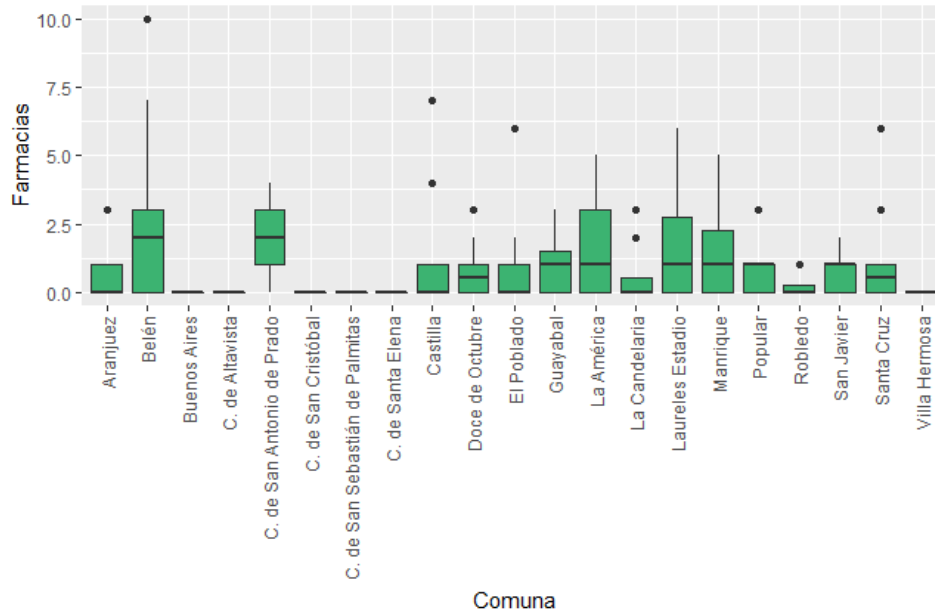


Figura 21. *Box plot* comparativo entre variable farmacias y las comunas de Medellín

- **Categoría movilidad**

En esta categoría los resultados son de bastante interés pues se observa que, en Medellín, como lo muestra la Figura 22, no hay gran presencia de ciclo vías, sin embargo, en zonas como Belén, El Poblado, Guayabal, La Candelaria y Laureles Estado las vías cuentan con zonas para transitar en bicicleta. En la Figura 23 se evidencia en los *box plot* que la mayoría de las comunas de Medellín cuenta con al menos un parqueadero público.

Por otra parte, la seguridad vial representada por los niveles de accidentalidad en la movilidad en Medellín es de gran importancia para este trabajo aportando información a la hora de tomar decisiones en un diseño de rutas para entregas de productos por medio de *cargo bikes*. En la Figura 24 se observa que en las comunas Guayabal, La Candelaria y Laureles Estadio los niveles de accidentalidad de bicicletas son mayores que en las demás zonas, esto demostrando que allí los niveles de accidentalidad son mayores.

Teniendo en cuenta el comportamiento de las variables es importante mencionar que los productos que podrían ser atendidos por las *cargo bikes* son los de tipo alimenticio. Esto, basado en el análisis anterior de los diferentes sectores económicos y en donde se encuentra que en la mayoría de las variables de cada sector económico hay presencia de productos

alimenticios y destacando que estos son de tamaño y peso compatibles para poder ser transportados con las *cargo bikes* (Anderluh et al., 2019).

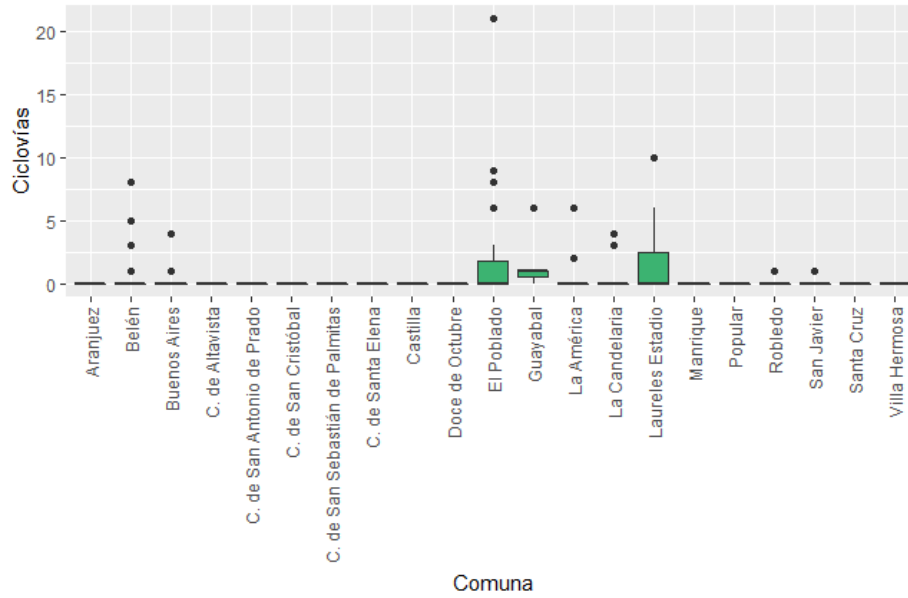


Figura 22. *Box plot* comparativo entre variable ciclovías y las comunas de Medellín

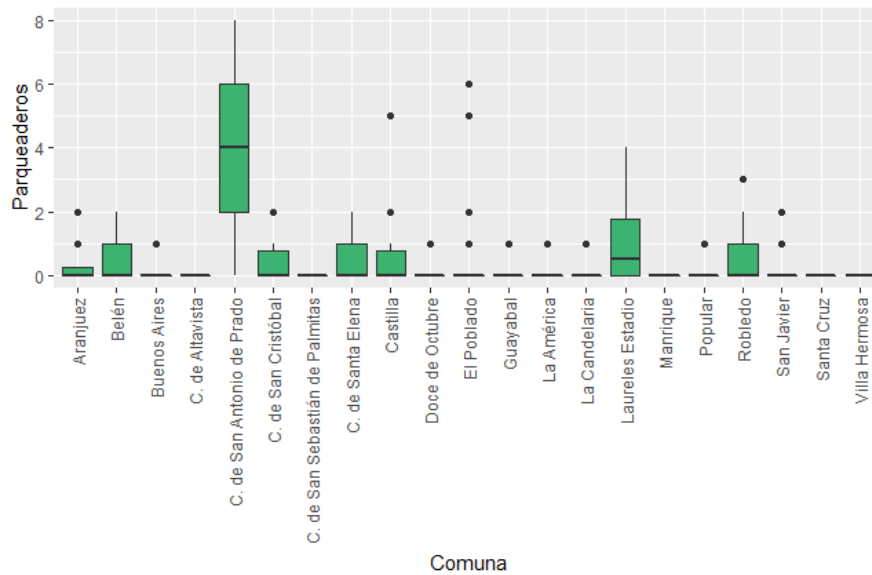


Figura 23. *Box plot* comparativo entre variable parqueaderos y las comunas de Medellín

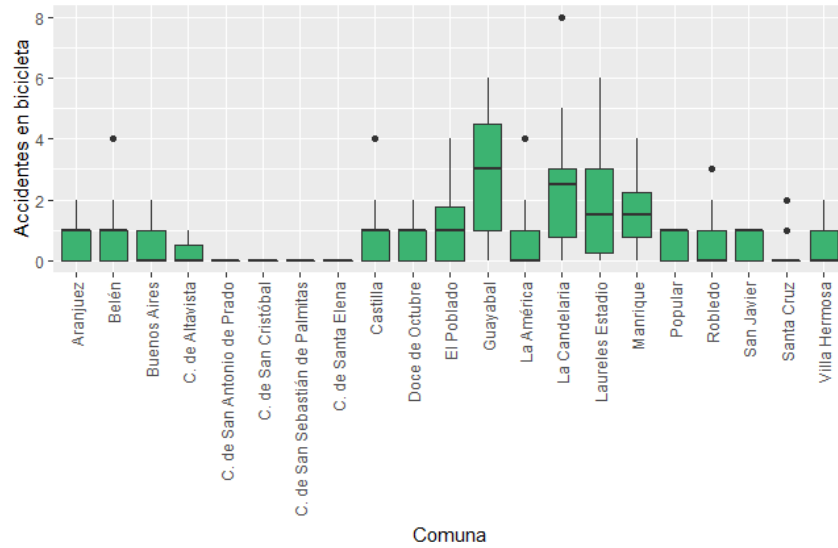


Figura 24. *Box plot* comparativo entre variable accidentes en bicicleta (anual) y las comunas de Medellín

En las Figura 25, a 26 se puede ver que para las comunas Aranjuez, Belén, Guayabal, La Candelaria y Laureles Estadio el acceso a ciclovías es mayor en comparación con las demás comunas de la ciudad de análisis. Por ejemplo, para la Figura 25 éstas comunas representan un alto número de comercios que tienen cerca al menos una ciclovía (a menos de una cuadra, 80 metros), de igual forma en la Figura 26 y la Figura 27 sucede que para dichas comunas tienen cercanía de ciclovías en radios de hasta 2 y 3 cuadras (160 y 240 metros respectivamente).

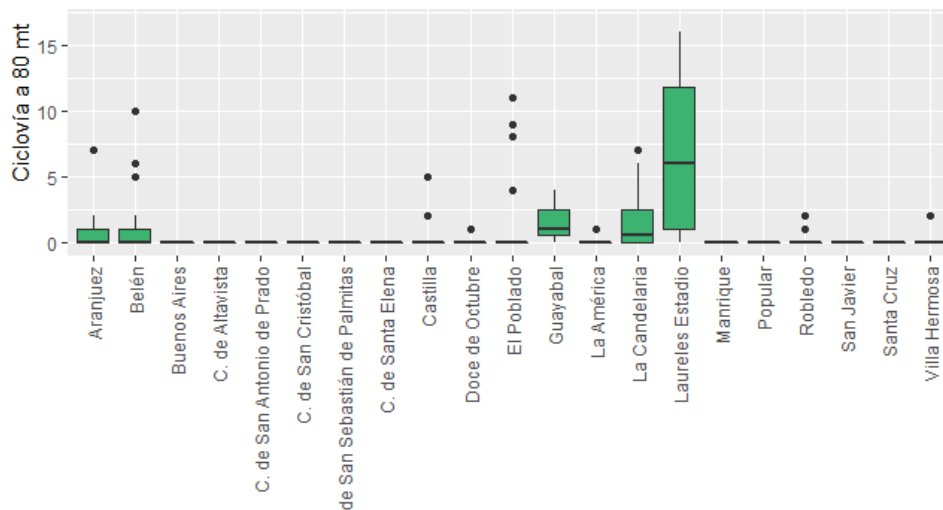


Figura 25. *Box plot* comparativo entre variable ciclovías cercanas a 80mt y las comunas de Medellín

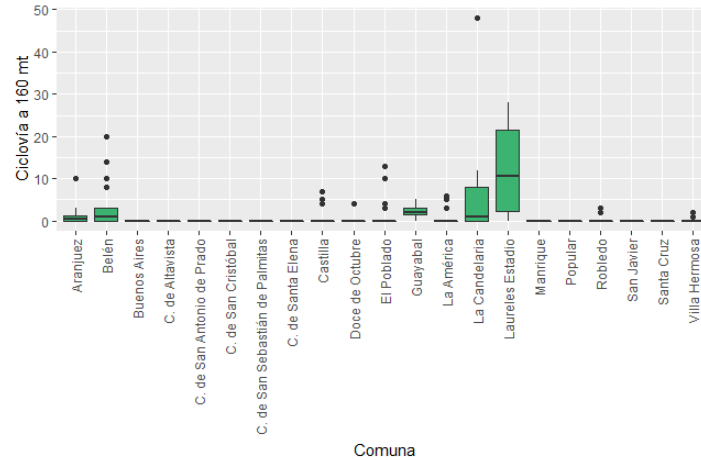


Figura 26. Box plot comparativo entre variable ciclovías cercanas a 160 mt y las comunas de Medellín

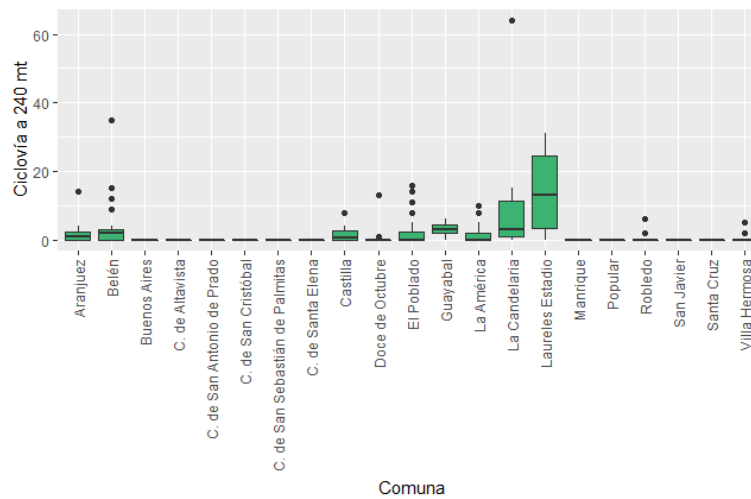


Figura 27. Box plot comparativo entre variable ciclovías cercanas a 240 mt y las comunas de Medellín

3.2.2 Análisis clúster

Como ya se ha mencionado antes, la parte central de este trabajo está en la identificación de zonas de una ciudad, en este caso de estudio Medellín, que son aptas para ser atendidas por medio de *cargo bikes*. Por ello se decidió hacer uso del análisis de clúster el cual pretende clasificar a un conjunto de barrios en grupos parecidos según características en común.

A partir de la base de datos final que se obtuvo en la etapa 1 se realiza el análisis estadístico. Se inicia con un proceso de normalización para evitar tener datos duplicados, corregir anomalías que pueda tener la base de datos y poder analizar dichos datos sin problemas (Russek et al., 1997). El análisis de clúster requiere el cálculo de una matriz de distancias

entre las filas de la base de datos, es decir, entre los barrios de la ciudad. Es de anotar que la cantidad de barrios en la ciudad llega a ser de 218.

Después de tener la matriz de distancias se realiza el cálculo del clúster por medio del paquete de R *NbClust* (Charrad et al., 2014) el cual permite calcular el número de clúster para el conjunto de datos a analizar a través de 30 índices. Para el caso de estudio el método *NbClust* arroja dos índices llamados Hubert y D-index) y métodos gráficos que determinan el número de clúster, como se observa en la Figura 28 y 29.

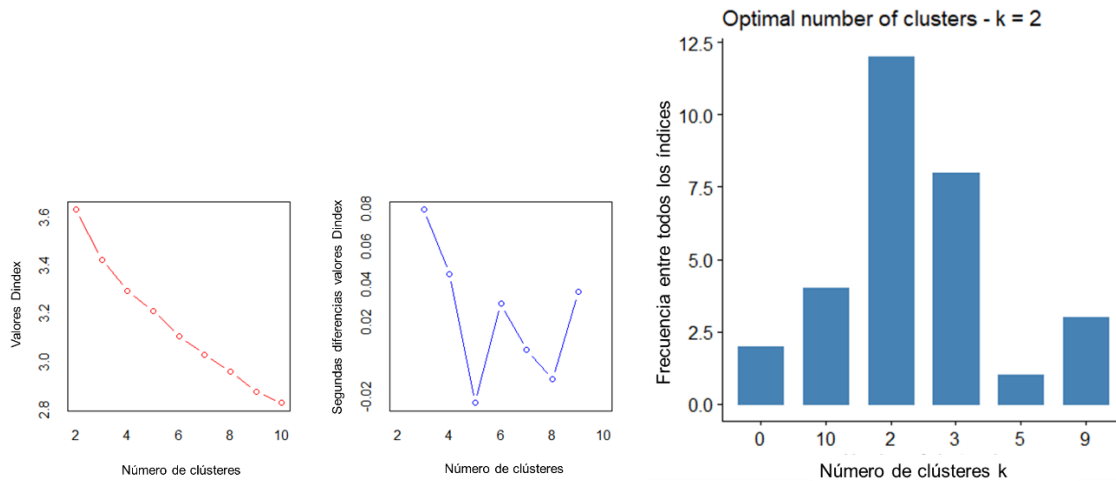


Figura 28. Índices de Hubert y Dindex

Figura 29. Número óptimo de clúster

En la Figura 28 se puede observar información sobre dos de los índices, Hubert y D-index. Para cada uno se obtiene una gráfica, con líneas en rojo se puede ver el índice propiamente pero además también las diferencias de los índices para clúster consecutivos los cuales se pueden ver en líneas de color azul. El número más alto en la gráfica, que presente una mayor diferencia, será el que se seleccionará según este método.

El método arroja que el número de clúster según la mayoría de los métodos es 2. Sin embargo, 8 de los métodos concluyen que 3 sería un número apropiado de clúster por ello se analizan las dos alternativas para evidenciar si cambiando el número de clúster se presentan diferencias importantes en la clasificación.

De la Figura 30 a Figura 32 presentan los resultados de la agrupación de los barrios de Medellín en dos y tres clúster de acuerdo con las variables de interés seleccionadas. Tal como puede verse en la Figura 31 el clúster número 2 en la alternativa de dos clúster y en la Figura 33 el clúster número 3 en la alternativa de 3 clúster presenta un conjunto de

barrios que parece interesante para ser atendido en *cargo bikes* por las variables que se destacan como la cantidad de negocios (restaurantes, bares, hoteles), pendientes bajas destacando zonas planas.

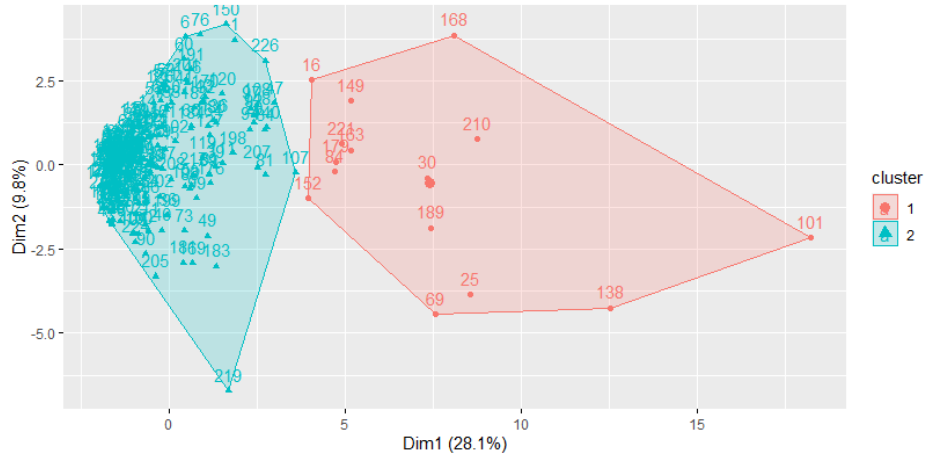


Figura 30. Vista 1 clúster 2

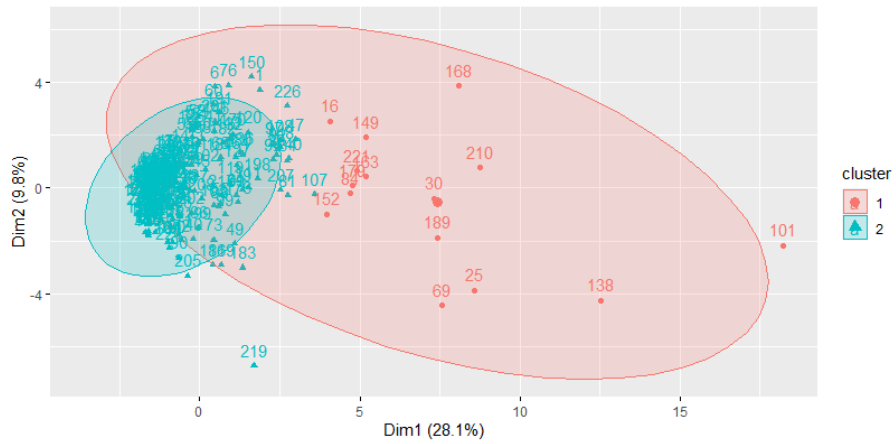


Figura 31. Vista 2 clúster 2

que para el clúster 3 hay buena presencia de ciclovías lo cual hace que tenga acceso a infraestructura para la distribución con *cargo bikes*.

Todas las variables presentes en las 4 categorías descritas son las variables que hacen pensar que este sería el clúster apto para ser atendido con *cargo bikes*. Todas tienen características comunes como productos alimenticios y de salud que por su tipo, forma y dimensión son aptos para ser atendidos por medio de *cargo bikes*. En el clúster 3 quedaron 10 barrios de Medellín pertenecientes a 4 comunas de la ciudad.

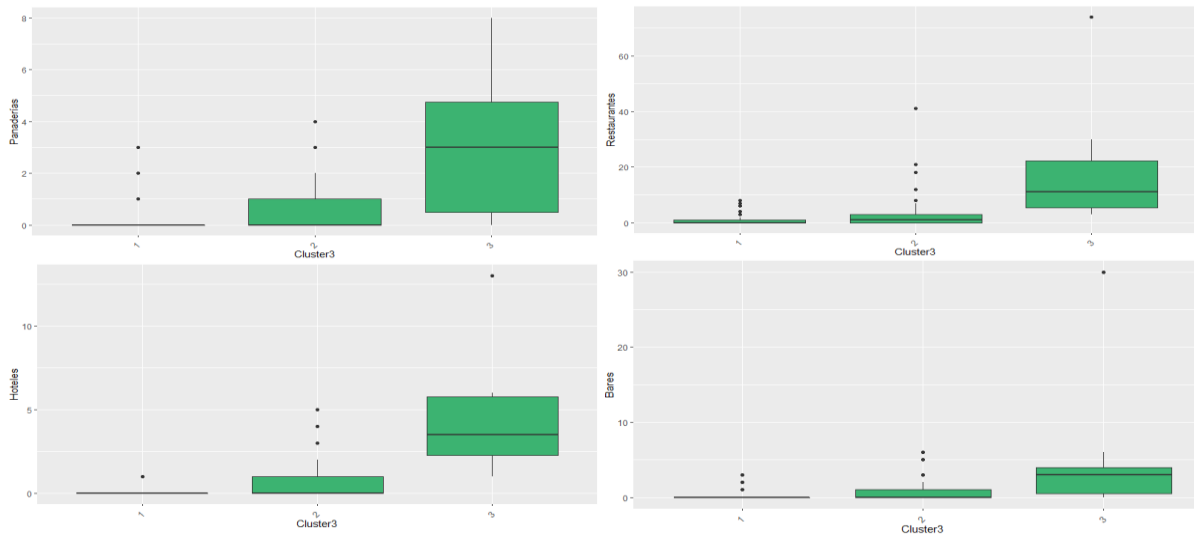


Figura 34. Clústeres categoría alimentos

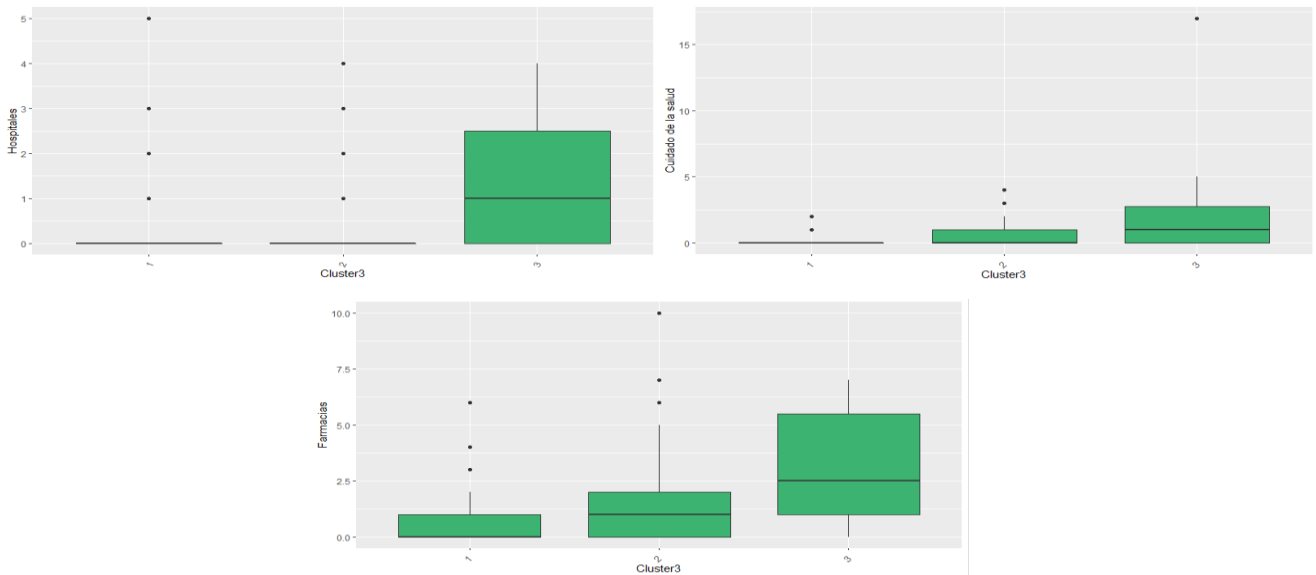


Figura 35. Clústeres categoría salud

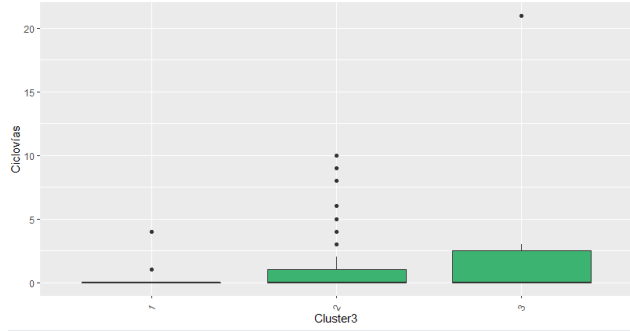


Figura 36. Clústeres categoría movilidad

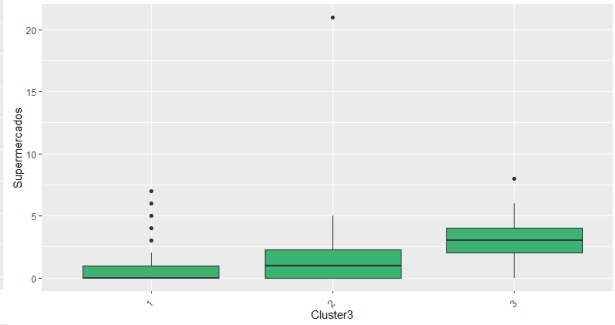


Figura 37. Clústeres categoría comercio

Analizando otras variables de movilidad como el número de negocios cercanos y los negocios que tienen acceso a una ciclo vía a menos de una cuadra (80 metros) se puede también evidenciar que se marca con gran fuerza en el clúster 3 tal como se ve en la Figura 38.

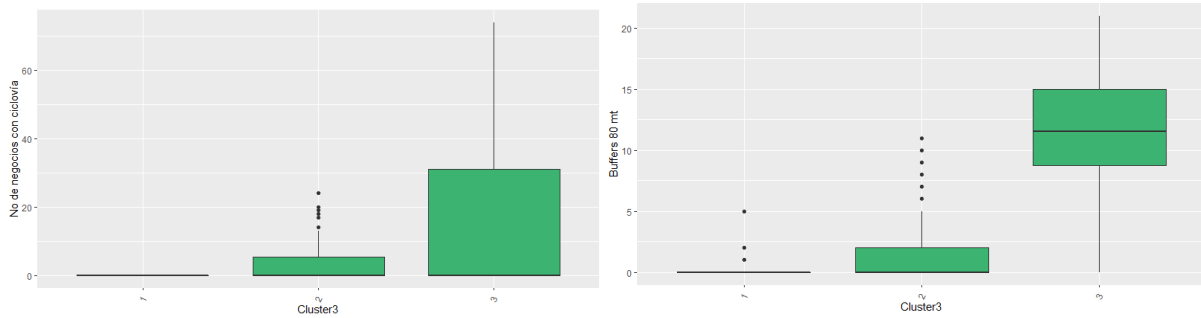


Figura 38. Clústeres categoría movilidad, accesos a ciclovías de los negocios

Por otra parte, en la Figura 39 se logra evidenciar que desde el punto de vista geográfico (pendientes) y social (promedio de hurtos) para los barrios del clúster 3 estas dos variables no marcan, estadísticamente, un peso significativo respecto a los demás barrios. Para la Figura 39, en la variable pendientes, es de destacar que para los barrios que se ubicaron en el clúster 3 el valor de la pendiente promedio es de grado menor a comparación de los demás clústeres.

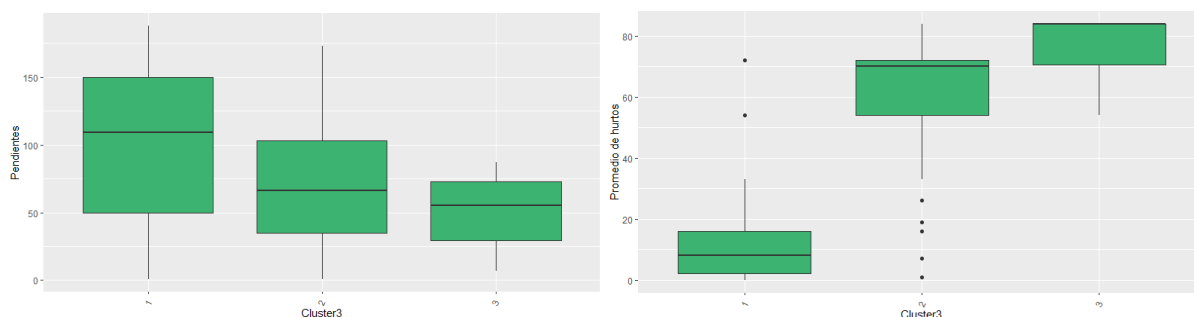


Figura 39. Clústeres categoría otros

Como método estadístico para aceptar que las variables de estudio tienen un adecuado comportamiento en el clúster 3 se aplica la prueba no paramétrica *kruskal.test* de *Kruskal-Wallis*. Esta prueba no paramétrica compara más de dos muestras independientes y se utiliza para probar si dichas muestras provienen de una misma distribución (Ostertagová et al, 2014).

Para el caso de estudio se pretende analizar si existen diferencias significativas entre las medianas, esto comparando el valor p de cada una de las 23 variables y el valor de significancia para validar la hipótesis nula detallada en el anexo 21.

Se analizar las 23 variables comparándolas con el clúster 2 y el clúster 3 para validar su nivel de significancia. Para el caso de las comparaciones con el clúster 2, 22 de las 23 variables son estadísticamente significativas y 1 de ellas (pendientes) no lo es con un valor p de 0.06748. Por otra parte, en el caso del clúster 3, de las 23 variables de análisis 22 son estadísticamente significativas a excepción de 1 variable (población) que con un valor p de 0.2447 no es estadísticamente significativa. Lo anterior apoya la decisión de analizar los barrios que pertenecen a las comunas dentro del clúster 3 en las demás fases de la metodología. En el anexo 21 en la Tabla 30 se encuentran los valores p para cada una de las variables de estudio comparadas con los diferentes clústeres.

Una base estadística en cualquier estudio es necesaria para que permita validar la efectividad de los datos, logre dar visión al comportamiento de las variables a analizar y arroje datos con los cuales tomar decisiones. Por ello, esta sección de análisis cobra importancia mostrando que para la ciudad de análisis se concentra gran parte de las variables en un grupo con características comunes (clúster 3). Dichos barrios serán analizados en la siguiente

sección y serán utilizados para la validación de los beneficios que traería la introducción de *cargo bikes* en los mismos.

3.3 Enrutamiento de las zonas

Una vez se encontró el número de clúster para seleccionar los barrios a ser atendidos por *cargo bike* se analizan estos internamente según su actividad económica. Lo anterior, con el fin de identificar la presencia de cada variable de las categorías identificadas en la sección anterior y poder visualizar la cantidad de clientes potenciales para ser atendidos con *cargo bikes*.

En cada barrio se analizó la actividad económica y se definió la cantidad de negocios que tiene cada barrio para trazar las rutas de entregas por medio de *cargo bikes*. Según los resultados del análisis de la Figura 34 se encuentra gran cantidad de actividad económica en el sector alimenticio donde están las categorías de panaderías, hoteles, restaurantes y bares.

En la Tabla 3 se describe la cantidad total de negocios que tiene cada barrio y específicamente la cantidad en el sector alimenticio. Además, en la Tabla 3 se encuentra el número de rutas a trazar teniendo en cuenta que cada ruta inicia con un supuesto de atención por medio de *cargo bikes* de 20 clientes (número de clientes basados en una capacidad de carga promedio para una *cargo bike* de 200 kg) y entregas a cada cliente de 1 solo paquete, además se describen las rutas a trazar dependiendo si se toma como base el total de negocios o solo categoría alimentos. Estas rutas, permiten evaluar el ahorro potencial en el caso tal que se tuviese que atender un número dado de establecimientos en un zona determinada. La presencia de unos comercios u otros tendrá que ser considerada al momento de realizar la programación operaciones de las rutas en el día a día (Anderluh et al., 2019). Aquí, el principal aporte de esta etapa de la metodología es permitir una estimación previa del ahorro potencial de tiempo y energía que podría representar la sustitución de vehículos convencionales por *cargo bikes*.

Barrio	Comuna	Total negocios	Alimentos	# Rutas negocios	# Rutas alimentos
Belén	Belén	38	15	2	1
Bolivariana	Laureles Estadio	32	28	2	2
El Poblado	El Poblado	111	102	6	6

Florida Nueva	Laureles Estadio	21	12	2	1
La Candelaria	La Candelaria	46	37	3	2
Laureles	Laureles Estadio	64	38	4	2
Naranjal	Laureles Estadio	15	12	1	1
Patio Bonito	El Poblado	13	8	1	1
San Joaquín	Laureles Estadio	25	19	2	1
Suramericana	Laureles Estadio	27	18	2	1
			Total		
			rutas	25	18

Tabla 3. Cantidad de negocios de cada barrio y número de rutas a trazar

Como se mencionó en la metodología, el ruteo se hizo por medio de *VRP Solver* el cual arroja varios esquemas de análisis entre los cuales se destacarán el ruteo visto gráficamente sobre un mapa de Medellín y el orden de atención de cada ruta teniendo en los supuestos mencionado en el parrado anterior.

Se trazan 22 rutas las cuales corresponden a 18 rutas pertenecientes al clúster y 4 rutas no pertenecientes al clúster, la estructura de las rutas se compone de 1 mapa que muestra la zona de Medellín del barrio a rutear y visualiza el orden de entrega de las *cargo bikes* a cada negocio y una tabla donde se destacan datos como kilómetros recorridos en cada tramo de entrega de cada ruta, tiempo de entrega y cantidad de carga transportada por la *cargo bike* en cada tramo. Un ejemplo de la estructura de las rutas se muestra en la Figura 40 y la Tabla 4 con la ruta del barrio Bolivariana (del anexo 3 a 20 se presenta las rutas detalladas para los 4 barrios).

Los supuesto usados para trazar las rutas fueron:

- **CEDI:** en centro de distribución se ubicó como el centroide de la zona compuesta por los negocios de cada uno de los barrios que pertenecen al clúster.
- **Capacidad de entrega de la *cargo bike*:** la capacidad de atención de la *cargo bike* en número de clientes es de 10 teniendo en cuenta la capacidad del cajón de carga y del tamaño promedio de un paquete con dimensiones de 1.5 mt y pesos entre 1-6 kilos (Envía, 2020).
- **Cantidad de carga a entregar:** se asume que en cada negocio se entrega 1 solo paquete.

- **Velocidad de entrega:** la velocidad de entrega de la *cargo bike* se asumió de 20 kilómetros por hora basados en la literatura (Melo & Baptista, 2017).

Nótese que en esta etapa la pendiente del terreno no es considerada en el diseño de la ruta. Dicha variable fue considerada en la elección de la zona de la ciudad y será utilizada nuevamente para el cálculo de la energía consumida en la ruta. En la actualidad, el software de enrutamiento de vehículos no considera dicha variable al momento del diseño de las rutas por esta razón no fue factible incorporar dicho elemento en esta etapa de la metodología ((Rincon Garcia et al, 2018), (Horner, 2018)). La metodología puede extenderse en este sentido incorporando un mejor componente de enrutamiento ya que la reducción de emisiones es uno de los enfoques emergentes en la planeación de rutas de vehículos con enfoque ambiental (Vidal et al, 2020).

Estos supuestos son claves para que la ruta diseñada sea un proxy cercano a la operación que se llevaría a cabo en la realidad al desplegar la entrega con *cargo bikes* en dichas zonas. El trazado de las rutas permite validar la secuencia que seguiría la *cargo bike* teniendo en cuenta información actualizada sobre negocios, ciclovías, velocidades, capacidades y centros de distribución.

Ruta 2 – Bolivariana 1

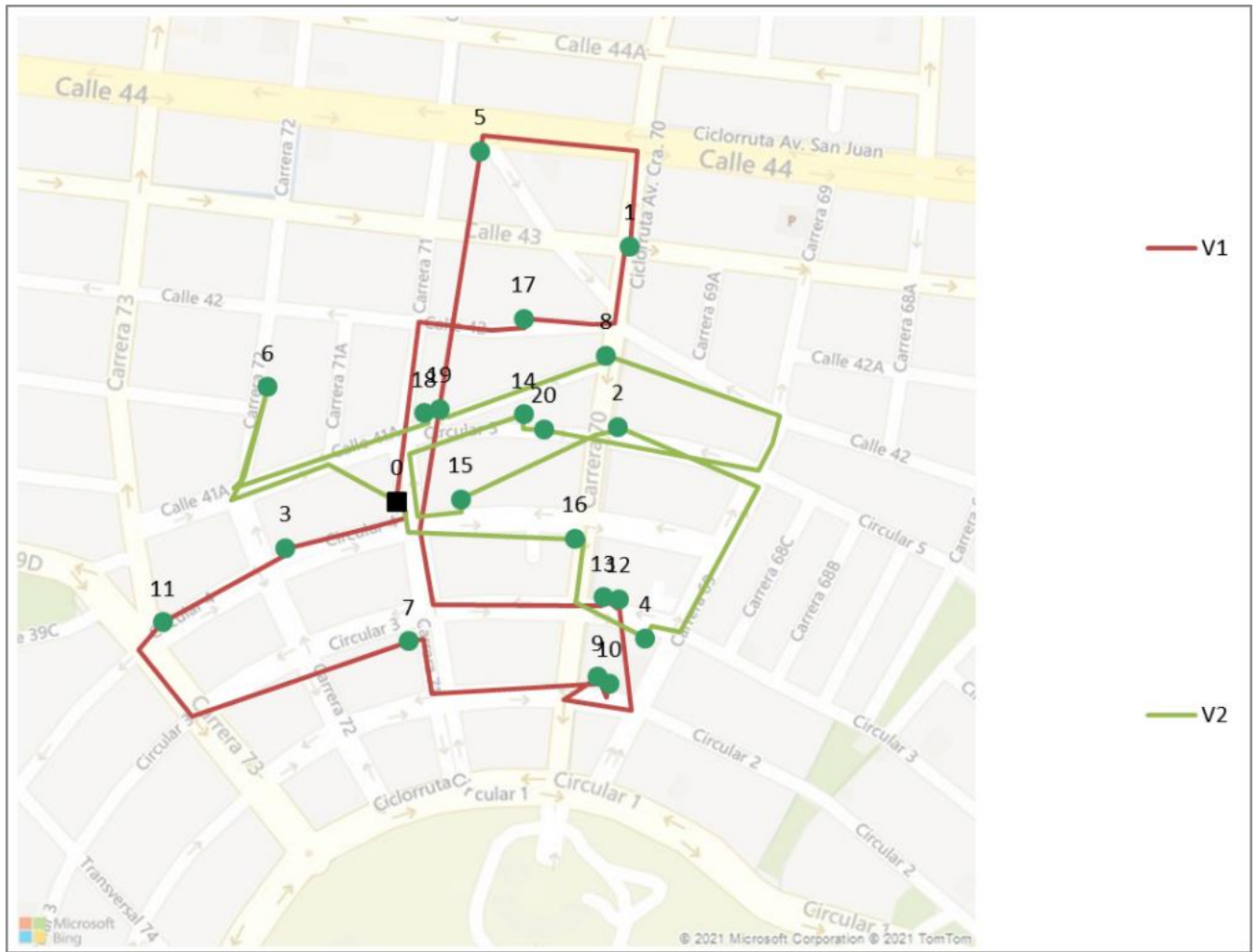


Figura 40. Ruta 2 – Bolivariana

Ruta	No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida [km] acumulada	Tiempo de viaje [min]	Carga [und]
1	0	CEDI	0	0.00	0:00	10
	1	Cool corner place	0.111	0.11	0:00	9
	2	Manyare	0.11	0.22	0:00	8
	3	Hotel Lobby Park	0.318	0.54	0:02	7
	4	Gourmet Sabana	0.241	0.78	0:04	6
	5	Déjame que te cuente	0.009	0.79	0:04	5
	6	Aplastados de Pacho	0.213	1.00	0:06	4
	7	Kokoriko Bolivariana	0.012	1.01	0:06	3
	8	Suites 44 Hotel	0.557	1.57	0:08	2
	9	Toco Madera	0.201	1.77	0:09	1
	10	Paraíso	0.134	1.91	0:09	0
	11	CEDI	0.231	2.14	0:11	0
2	0	CEDI	0	0.00	0:00	10
	1	Mondongo Restaurante	0.175	0.18	0:01	9
	2	Balcones de la 70	0.12	0.30	0:02	8
	3	Bar 1	0.292	0.59	0:04	7
	4	Salud Pan	0.176	0.76	0:05	6
	5	Full Árabe	0.191	0.95	0:06	5
	6	Restaurante 1	0.017	0.97	0:06	4
	7	VIP 70	0.402	1.37	0:08	3
	8	El Compy Venezolana	0.139	1.51	0:08	2
	9	Orale comida mexicana	0.012	1.52	0:08	1
	10	casa blanca de los Laureles	0.249	1.77	0:09	0
	11	CEDI	0.282	2.06	0:10	0
12						

Tabla 4. Ruta 2 - Bolivariana

En la Tabla 4 se puede evidenciar el orden en que la *cargo bike* visita los negocios para cada ruta que traza. Allí se puede ver el tiempo de recorrida de la *cargo bike* de un punto a otro, además la cantidad de metros que recorrió en la entrega entre cada tramo y la cantidad de productos o carga que tenía en cada entrega.

Esta simulación permite conocer y acercarse a la realidad en un panorama de entrega para algunos negocios de los barrios pertenecientes al clúster 3. En la ruta trazada se logra ver los tiempos de entrega de la *cargo bike* en cada parte de la ruta, además de conocer exactamente el recorrido en kilómetros lo cual es insumo esencial para el cálculo de los indicadores.

3.4 Medición - indicadores de desempeño

3.4.1 Consumo de energía

Para validar el impacto que tiene el uso de las *cargo bikes* en las entregas se realiza el cálculo del consumo de energía de una *cargo bike* y de un vehículo convencional. Para este cálculo se hizo uso de la Ecuación 1 basados en la teoría física de trabajo y energía a partir de un diagrama de cuerpo libre (Figura 41) con base en (Toro et al., 2017) y (Kara et al., 2008) quienes estudian el consumo de energía en el enrutamiento de vehículos.

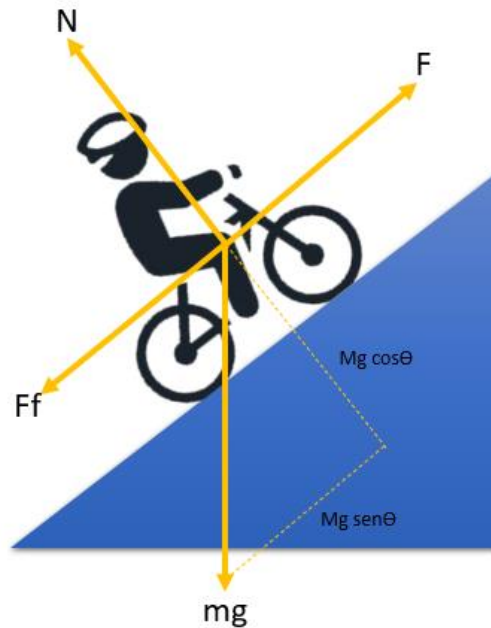


Figura 41. Diagrama de cuerpo libre ciclista. Fuente: elaboración propia

$$F = \mu * m * g * \cos(\theta) + m * g * \sin(\theta) \quad \text{Ecuación (1)}$$

donde

μ = coeficiente de rodadura

m = masa total [masa *cargo bike* + masa ciclista + masa carga transportada] **Nota:** la masa en este caso será tomada como el peso en Kg de cada variable ya descrita.

g = gravedad (9.81 m/s²)

$\theta = \tan^{-1}$ (pendiente). La pendiente del terreno del barrio seleccionado para el clúster.

Y el consumo de energía está dado por la ecuación 2 en donde se medirá en trabajo de fuerza

$$W = F * d \quad \text{Ecuación (2)}$$

donde d es la distancia recorrida en kilómetros.

Se asume que para una persona (hombre) con una masa promedio de 70 kilogramos se gasta 7.5 kcal/min al conducir una bicicleta a una velocidad promedio de 16.09 km/h (Wilmore & Costill, 1994). A manera de ejemplo, 7.5 kcal/min equivalen a 15.69 KJ en un tiempo de 30 segundos.

En la Tabla 5 se describe la cantidad de energía que consume cada ciclista en la ruta designada para cada barrio. Además, se realizó un cálculo teórico de consumo de un vehículo convencional para realizar una comparación y poder ver los beneficios que hay entre los dos tipos de vehículos. Se asumió que para un vehículo convencional con 1 l de gasolina se consume una energía de 32.18 KJ a una velocidad constante de 12 km (Ibañez, 2012) (en este caso se calcula la energía para un vehículo sin carga, por lo que es casi despreciable el consumo de energía con la misma carga de *cargo bikes*). Lo anterior se toma de base para calcular la energía consumida en la distancia recorrida por la *cargo bike* y el vehículo convencional. En caso de tratarse de vehículos eléctricos estos consumos de energía podrían darse alternativamente en kWh (usando para ello la equivalencia del sistema de medida internacional: kWh =kJ * 0.00027778) (Wight Hat Ltd, 2022).

Vale destacar que la comparación realizada en la Tabla 5 no es estadística, es una comparación del consumo de energía entre los dos vehículos. En esta tabla se describe el

consumo de energía en cada ruta de entrega para los negocios dentro de cada barrio que está dentro del clúster 3 el cual fue el resultado de la sección 3.2.

En la Tabla 5 se pueden ver 14 rutas que responden a la simulación en la atención de los negocios pertenecientes a los 4 barrios que pertenecen al clúster 3, para cada ruta se tiene atención máxima de 20 clientes el cual ya se había definido como supuesto anteriormente.

Comuna	Ruta	Energía total consumida [KJ]	Energía vehículo convencional [KJ]	Ahorro de energía <i>cargo bike</i> VS vehículo convencional
Belén	1	1069	1676667	99.9%
Laureles Estadio	2	364	931556	100.0%
Laureles Estadio	3	166	541778	100.0%
El Poblado	4	626	1189556	99.9%
El Poblado	5	853	20496	95.8%
El Poblado	6	911	18880	95.2%
El Poblado	7	744	18136	95.9%
El Poblado	8	368	15451	97.6%
El Poblado	9	485	17320	97.2%
Laureles Estadio	10	95	6224	98.5%
La Candelaria	11	1130	21888	94.8%
La Candelaria	12	938	23133	95.9%
Laureles Estadio	13	1005	18096	94.4%
Laureles Estadio	14	515	15024	96.6%
Laureles Estadio	15	106	7600	98.6%
El Poblado	16	506	13752	96.3%
Laureles Estadio	17	237	10475	97.7%
Laureles Estadio	18	318	13675	97.7%

Tabla 5. Energía consumida por *cargo bike* versus vehículo convencional.

En la Tabla 5 se puede observar que la energía consumida (por ruta de entrega) por un vehículo convencional comparado con una *cargo bike* en la misma distancia recorrida es en promedio de un 97% menor en la *cargo bike* que en el vehículo convencional. Esto se debe a que características como la masa (pesos total) es mayor en un vehículo convencional,

adicional que el consumo a bajas velocidades de un vehículo convencional entre paradas y arranques es mayor que la de una *cargo bike*. En la ruta de un vehículo convencional el tiempo de viaje se aumenta por los tiempos de parqueo ya que en esta búsqueda de encontrar espacio para poder realizar las entregas hay bastantes restricciones de movilidad y esto aumenta el tiempo (Sheth et al., 2019). Por el contrario, en una *cargo bike* este tiempo es mínimo aumentando la ventaja en términos de consumo de energía.

3.4.2 Tiempo total de la ruta

En este indicador se hace una comparación entre el tiempo que gasta la *cargo bike* en la ruta de la sección 3.3. Para esta comparación se toman los datos de las rutas de la Tabla 4 y se calcula el tiempo de tomaría un vehículo convencional en recorrer la distancia descrita en esta ruta.

Para dicho cálculo se tienen en cuenta algunos supuestos como: velocidad promedio de 32.2 km/h, además el tiempo de parqueo con un tiempo de búsqueda del lugar de 9 minutos en promedio (Sheth et al., 2019).

En la Tabla 6 la columna “Tiempo de viaje de *cargo bike* [min]” describe el tiempo que recorre la *cargo bike* durante cada tramo en cada ruta, de igual para la columna “Tiempo de viaje vehículo convencional acumulado [min]” se describe el tiempo que recorre un vehículo convencional durante cada tramo igualmente para cada rutas. Por ejemplo, en la ruta 2 en el tramo 4 donde los vehículos se dirigían del negocio “Hotel Lobby Park” hacia el negocio “Gourmet Sabana” la *cargo bike* tardo 4 min en el recorrido mientras que el vehículo convencional tardo 9 min. El tiempo de viaje del vehículo convencional se calcula teóricamente con base en datos de distancia, velocidad y tiempos de parqueo.

En la Tabla 6 se puede evidenciar la ventaja significativa que tiene la *cargo bike* sobre un vehículo convencional ya que en el tiempo de ruta para un vehículo común en promedio el 98% (9 minutos) del tiempo lo usa buscando algún lugar para realizar la entrega (al ser tan cortos los tramos los tiempos de recorrido llegan a ser muy pequeños que no se alcanzan a apreciar en el tiempo total de viaje).

Ruta	No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Tiempo de viaje <i>cargo bike</i> [min]	Tiempo de viaje vehículo convencional acumulado [min]
1	0	CEDI	0	0:00	0:00
	1	Cool corner place	0.111	0:00	0:09
	2	Manyare	0.11	0:00	0:18
	3	Hotel Lobby Park	0.318	0:02	0:28
	4	Gourmet Sabana	0.241	0:04	0:37
	5	Déjame que te cuente	0.009	0:04	0:46
	6	Aplastados de Pacho	0.213	0:06	0:56
	7	Kokoriko Bolivariana	0.012	0:06	1:05
	8	Suites 44 Hotel	0.557	0:08	1:15
	9	Toco Madera	0.201	0:09	1:24
	10	Paraíso	0.134	0:09	1:34
11	CEDI	0.231	0:11	1:43	
2	0	CEDI	0	0:00	0:00
	1	Mondongo Restaurante	0.175	0:01	0:09
	2	Balcones de la 70	0.12	0:02	0:19
	3	Bar 1	0.292	0:04	0:28
	4	Salud Pan	0.176	0:05	0:37
	5	Full Árabe	0.191	0:06	0:47
	6	Restaurante 1	0.017	0:06	0:56
	7	VIP 70	0.402	0:08	1:06
	8	El Compy Venezolana	0.139	0:08	1:15
	9	Orale comida mexicana	0.012	0:08	1:24
	10	casa blanca de los Laureles	0.249	0:09	1:33
11	CEDI	0.282	0:10	1:43	

Tabla 6. Comparación tiempos de ruta entre una *cargo bike* y un vehículo convencional

Como se ve en Tabla 6 la ventaja de hacer uso de *cargo bikes* en la entrega de productos en una ciudad trae consigo ventajas significativas no solo en los tiempos de la ruta sino en los tiempos de parqueo y los costos que estos traen consigo para un vehículo convencional. Hacer uso de *cargo bikes* permite tener facilidad y versatilidad en las entregas pudiendo ser más oportunos y confiables para cualquier cliente en términos de efectividad en las entregas.

3.4.3 Distancia total recorrida

En la Tabla 6 se describe el total de kilómetros recorridos en cada tramo de la ruta. Este indicador es la base para el cálculo de la energía y del tiempo de viaje para *cargo bike* y vehículo convencional. En el caso de la ruta en el barrio Bolivariana a partir de la Tabla 6 podemos ver que una *cargo bike* recorre en total 4.192 kilómetros para hacer entrega de 20 paquetes a 20 negocios.

Hacer uso de *cargo bikes* en las entregas de cualquier negocio resulta bastante beneficioso (teniendo en cuenta características propias de cada ciudad y mercado como se menciona en este estudio) y en esta sección 3.4 se puede validar evaluando varios indicadores, como por ejemplo el consumo energético entre un vehículo convencional y una *cargo bike* es significativamente mejor en esta última (en promedio un 98% de mejoría) y esto debido a la diferencia en el uso de combustible para cada tipo de transporte, el peso del vehículo y las capacidades de carga. Por otra parte, si de tiempo se habla definitivamente una *cargo bike* siempre será la opción antes que un vehículo común pues sus ventajas en términos de parqueo son bastante dicientes como se pudo ver en la Tabla 6.

Capítulo 4

Conclusiones

La revisión de la literatura muestra que existe un vacío del conocimiento en cuanto a la identificación de las zonas para una cadena logística de entrega por medio de *cargo bikes*. La literatura plasma que los autores hasta el momento centran sus esfuerzos en resaltar los beneficios que tienen las *cargo bikes* al ser usadas como medio de transporte en la entrega de productos en las ciudades, teniendo en cuenta que el uso de la *cargo bike* se hace basado en una decisión de administración en cada proceso logístico y no en características (económicas, demográficas o geográficas) de las zonas a atender. Por lo anterior, este trabajo centró los esfuerzos en identificar a través de análisis estadístico qué características tiene una zona que sea de interés para realizar entregas para desde el resultado del análisis poder concluir si es o no apta para ser atendida por medio de *cargo bikes*.

Existe una gran variedad de herramientas que se requieren para el análisis: mapas, bases de datos, análisis estadísticos y software para enrutar. Todas estas herramientas permiten obtener resultados reales y confiables. En este trabajo se desarrolló una metodología que permite analizar la zona antes de activar un sistema de entrega por medio de *cargo bikes* y para esto se requieren múltiples etapas que comprenden desde: conocer la zona de manera geográfica (pendientes), comportamiento social (niveles de hurtos, para el caso de las bicicletas) de las zonas, además de conocer el nivel de accesibilidad en términos de ciclo rutas, variables sociodemográficas (población y estrato) y hasta llegar a desagregar los niveles de actividad económica.

Desde el análisis que se realizó en este trabajo se identifica que las variables que influyen directamente en determinar que zonas de la ciudad serían aptas para poder ser atendidas con *cargo bike* son el tipo de terreno (inclinación o pendiente), la presencia de actividad económica que hay en la zona incluyendo la accesibilidad a los comercios desde la infraestructura vial para la movilidad de la bicicleta, el nivel de accidentalidad y hurtos de bicicletas sin duda influyen en gran medida aunque pareciera que estas variables juegan un papel contradictorio en la toma de decisión frente a la entrega de productos con *cargo bikes*

pues tendrían una connotación negativa. Sin embargo, son variables a las cuales se les puede mitigar dicha connotación reforzándolas con mecanismos tecnológicos que permitan rastrear la ruta y la vuelvan más segura para el cliente final y el usuario.

En este trabajo se tomaron varios supuestos en términos prácticos para realizar cálculos de energía y de enrutamiento y poder validar por medio de un indicador de eficiencia los beneficios que tiene las *cargo bike* al ser usados como medio de entrega en un proceso logístico. Esto permitió acercarse a la realidad y evidenciar que existe una gran ventaja y beneficio de usar este medio de transporte, pero además que el análisis previo de identificación de la zonas de la ciudad de interés brinda un panorama preliminar a las compañías y entes territoriales interesados en la identificación de zonas que puedan atenderse con *cargo bikes*.

Se destaca que uno de los grandes beneficios que tiene el uso de *cargo bike* en una entrega es el consumo de energía, ahorro comparado con un vehículo convencional, pues los niveles de consumo energético de una ruta atendido con *cargo bike* son inferior en un 97%, en promedio, respecto a un vehículo normal. Este beneficio se debería validar con una prueba piloto lo cual podría ser una posibilidad de trabajo futuro el cual permita a través de la practica medir los niveles de consumo calórico, peso de la persona, niveles de destreza, velocidades, trafico, entre otras; esto para validar que los supuesto teóricos basados en literatura de este trabajo sean comprobados en la realidad.

Referencias

- Anderluh, A., Hemmelmayr, V., & Nolz, P. (2019). Sustainable Logistics With Cargo Bikes: Methods and Applications. *Sustainable Transportation and Smart Logistics*. Elsevier, 207-232. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814242-4.00008-9>
- Angus, H. (17 de 12 de 2015). *Momentum Maga*. Recuperado el 1 de 11 de 2021, de <https://momentummag.com/wp-content/uploads/2016/05/momentummag-cargobikeguide-v1.2.pdf>
- Bicicarga Bogotá. (1 de 11 de 2021). *Secretaria de Movilidad*. Obtenido de <https://www.movilidadbogota.gov.co/web/galeria/bicicarga>
- Brooke, J. (14 de 05 de 2007). *flickr*. Recuperado el 1 de 11 de 2021, de https://www.flickr.com/photos/jb_brooke/521888548/in/photostream/
- Cairns, S., & Sloman, L. (Julio de 2019). *Potential for e-cargo bikes to reduce congestion and pollution from vans in cities*. Obtenido de <https://www.bicycleassociation.org.uk/wp-content/uploads/2019/07/Potential-for-e-cargo-bikes-to-reduce-congestion-and-pollution-from-vans-FINAL.pdf>
- Charrad, M., Ghazzali, N., Boiteau, V., & Niknafs, A. (2014). NbClust: An R Package for Determining the Relevant Number of Clusters in a Data Set. *Journal of Statistical Software*, 61, 1-36. doi:<https://doi.org/10.18637/jss.v061.i06>
- Conway, A., Fatisson, P. E., Eickemeyer, P., Cheng, J., & Peters, D. (Enero de 2012). Urban Micro-Consolidation and Last Mile Goods Delivery by Freight-Tricycle in Manhattan: Opportunities and Challenges. *In Proceedings of the Transportation Research Board 91st Annual Meeting, Washington, DC, USA*, 22-26.
- de Bogotá, C. (2020). Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas. Revisión 4 adaptada para Colombia. CIIU Rev. 4 A.C. *DANE, información para todos*, 1-693.
- de Mello Bandeira, R. A., Goes, G. V., Gonçalves, D. N., Márcio de Almeida, D., & de Oliveira, C. M. (2019). Electric vehicles in the last mile of urban freight transportation: A sustainability assessment of postal deliveries in Rio de Janeiro- Brazil. (Elsevier, Ed.) *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 491-502. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.12.017>

- dos Anjos Ferreira, A., & Frias, D. F. (2020). Uso de la bicicleta como transporte alternativo: implicaciones de la cuestión cultural en la preservación del medio ambiente. *Multitemas*, 145-162. doi:<https://doi.org/10.20435/multi.v25i60.2925>
- DW. (13 de 08 de 2013). DW. Recuperado el 31 de 10 de 2021, de <https://www.dw.com/en/ibullitt-cargo-bikes-delivery-vehicle-of-the-future/av-17017067>
- Envía. (24 de 10 de 2020). *Envía, pasión por lo que hacemos*. Obtenido de <https://envia.co/servicios#paquetes-terrestres>
- Erdoğan, G. (02 de 05 de 2017). *VRP Spreadsheet Solver*. Obtenido de <https://people.bath.ac.uk/ge277/vrp-spreadsheet-solver/>
- Fuellerer , G., Doerner, K., Hartl , R., & Lori, M. (2010). Metaheuristics for vehicle routing problems with three-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 201(3), 751-759. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.03.046>
- Gonzales Calderon, C., Posada Henao, J., Granada Muñoz , C., Moreno Palacio, D., & Arcila Mena, G. (2022). Cargo bicycles as an alternative to make sustainable last-mile deliveries in Medellin, Colombia. Elseiver, 10, 1172-1187. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.04.006>
- Gonzalez Calderon, C., Sánchez Díaz, I., Sarmiento Ordosgoitia, I., & Holguín Veras, J. (2018). Characterization and analysis of metropolitan freight patterns in Medellin, Colombia. *European Transport Research Review*, 10(2), 1-11. doi:<https://doi.org/10.1186/s12544-018-0290-z>
- Gruber, J., & Kihm, A. (2016). Reject or embrace? Messengers and electric cargo bikes. (Elseiver, Ed.) *Transportation research procedia*, 12, 900-910. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.042>
- Gutiérrez Rubiano, D. F. (2020). *Ciclogística en bogotá: hacia una estructura de costos de transporte para la distribución urbana*.
- Ibañez, P. (6 de 1 de 2012). *Motor Pasion*. Obtenido de <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/hablemos-de-eficiencia-coche-de-combustion-vs-coche-electrico>
- Horner, P. (2018). Innovation powers dynamic VR sector. *OR/MS Today*, 45(1), 43-45.

- Jiménez, F. (17 de 01 de 2022). *El país estrenó 307.679 empresas el año anterior*. Obtenido de El Colombiano: <https://www.elcolombiano.com/negocios/balance-de-creacion-de-empresas-en-colombia-en-2021-GB16353476>
- Kara, İ., Kara, B., & Yetiş, M. (2008). Cumulative Vehicle Routing Problems. *Tonci Caric and Hrvoje Gold*, 85-98.
- Léo, M. (2021). *A study on bicycle and public transportation synergy based on a cross-analysis between Europe and Japan*. Doctoral dissertation, Yokohama National University, Yokohama.
- Maes, J., Sys, C., & Vanelslander, T. (2011). Kunnen fietskoeriers een rol spelen in de Vlaamse logistieke sector? . *Flanders Logistics*.
- MedioAmbiente. (04 de Junio de 2019). *EL TIEMPO*. Obtenido de EL TIEMPO: <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/datos-sobre-la-contaminacion-del-aire-en-el-mundo-370632>
- Melo, S., & Baptista, P. (2017). Evaluating the impacts of using cargo cycles on urban logistics: integrating traffic, environmental and operational boundaries. *European transport research review*, 9(2), 1-10. doi:<https://doi.org/10.1007/s12544-017-0246-8>
- Orjuela-Castro, J. A., Orejuela-Cabrera, J. P., & Adarme-Jaimes, W. (2019). Last mile logistics in mega-cities for perishable fruits. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(2), 318-327.
- OSMF. (1 de 07 de 2004). *OpenStreetMap*. Obtenido de <https://www.openstreetmap.org/#map=19/-17.37373/-66.17966>
- Ostertagová, E., Ostertag, O., & Kováč, J. (2014). Methodology and Application of the Kruskal-Wallis Test. *Applied Mechanics and Materials*, 611, 115-120. doi:<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.611.115>
- R Core Team. (28 de 02 de 2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Obtenido de <https://www.R-project.org/>
- Rai, H. B., Verlinde, S., & Macharis, C. (2019). City logistics in an omnichannel environment. The case of Brussels. *Case Studies on Transport Policy*, 7(2), 310-317. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cstp.2019.02.002>

- Rincon Garcia, N., Waterson, B. J., & Cherrett, T. (2018). Requirements from vehicle routing software: Perspectives from literature, developers and the freight industry. *Transport Reviews*, 38(1), 117-138.
- Russek, L., Wooden, M., Ekedahl, S., & Bush, A. (1997). Attitudes Toward Standardized Data Collection. *Physical Therapy*, 77(7), 714-729. doi: <https://doi.org/10.1093/ptj/77.7.714>
- Schliwa, G., Armitage, R., Aziz, S., Evans, J., & Rhoades, J. (2015). Sustainable city logistics — Making cargo cycles viable for urban freight transport. *Research in Transportation Business & Management*, 15, 50-57. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2015.02.001>
- Sheth, M., Butrina, P., Goodchild, A., & McCormack, E. (2019). Measuring delivery route cost trade-offs between electric-assist cargo bicycles and delivery trucks in dense urban areas. *European Transport Research Review*, 11(1), 1-12. doi:<https://doi.org/10.1186/s12544-019-0349-5>
- SMM. (2 de 09 de 2021). *Secretaria de Movilidad Medellín*. Recuperado el 22 de 11 de 20201, de <https://www.medellin.gov.co/movilidad/component/k2/pico-y-placa-particulares-medellin>
- Taniguchi, E., & Tamagawa, D. (2005). Evaluating city logistics measures considering the behavior of several stakeholders. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 3062-3076.
- Toro, E., Franco, J., Granada Echeverri, M., & Gadelha Guimarães, F. (2017). A Multi-Objective Model for the Green Capacitated Location-Routing Problem Considering Environmental Impact. *Computers & Industrial Engineering*, 110, 114-125. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.05.013>
- Vasiutina, H., Szarata, A., & Rybicki, S. (2021). Evaluating the Environmental Impact of Using Cargo Bikes in Cities: A Comprehensive Review of Existing Approaches. *Energies*, 14(20), 6462. doi:<https://doi.org/10.3390/en14206462>
- Velove Bikes AB. (09 de 08 de 2022). *Velove*. Obtenido de Velove: <https://www.velove.se/electric-cargo-bike>
- Vidal, T., Laporte, G., & Matl, P. (2020). A concise guide to existing and emerging vehicle routing problem variants. *European Journal of Operational Research*, 286(2), 401-416.
- Wight Hat Ltd. (27 de 08 de 2022). *Metric Conversions*. Obtenido de Metric Conversions: <https://www.metric-conversions.org/energy-and-power/kilojoules-to-kilowatt-hours.htm>
- Wilmore, J., & Costill, D. (1994). *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. Barcelona: Paidotribo.

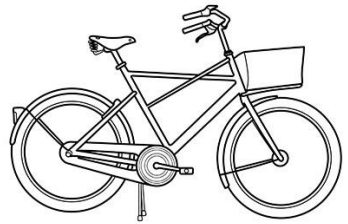
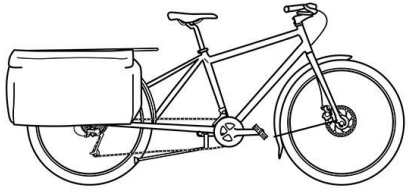
Wilmsmeier, G., Johansson, L., & Jallow, D. (2015). *El complejo rompecabezas del transporte urbano de mercancías*. Boletín Fal, Edición No 340.

Wrighton, S., & Reiter, K. (2016). CycleLogistics – moving Europe forward. *Transportation Research Procedia*, 12, 950-958. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.046>

Capítulo 5

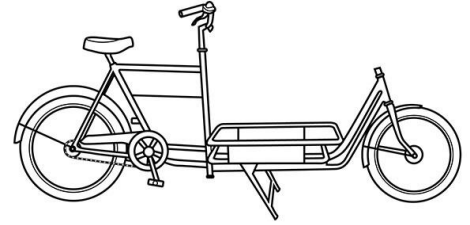
Anexos

Anexo 1

Nombre	Características	Foto
Bicicleta utilitaria	Con estructura de ejes tradicionales para trasportar cargas estándar. Diseñadas para ser ágiles y livianas. Johnny Loco, Pashley Cycles y Workman Cycles fabrican bicicletas utilitarias, que oscilan entre \$ 600 y \$ 1,500 USD.	
“Ciclo camión” (<i>Cycle Trucks</i>)	Tamaño estándar con rueda delantera más pequeña (20”) con un porta-bicicleta en la parte delantera fijo a la estructura de ésta. Tiene una caja para trasportar carga, pero puede ser removida y ser usada sin esta. Bilenky Cycle Works, Republic Bike, Virtue Bike, Soma Fabrications, Ahearne Cycles, Pashley Cycles y Bicicapace fabrican camiones para bicicletas, que oscilan entre \$ 700 y \$ 2,000 USD.	
“Colas largas” (<i>Longtails</i>)	Generalmente vienen con alforjas abiertas para sostener la carga a los lados, tienen ganchos para correas para asegurar la carga en la parte superior. Tienen una distancia entre ejes extra larga en la parte trasera, que se adapta a una plataforma incorporada extendida para transportar carga o niños. Yuba, Xtracycle, Surly, Bike Friday y Kona Bikes fabrican colas largas, que oscilan entre \$ 1,000 y \$ 2,000 USD.	

Long Johns

Se desarrolló en Dinamarca a principios del siglo XX. Tienen una distancia entre ejes extraordinariamente larga en la parte delantera y una rueda delantera más pequeña, con el área de carga o una canasta de madera adjunta colocada cerca del suelo entre el manillar y la rueda delantera. Cetma Cargo, Metrofiets, Wike, Fiets of Strength, Larry vs. Harry, Babboe Cargo Bikes, Christiana Bikes, Nihola, trioBike, Douze Cycles, Urban Arrow y Bakfiets fabrican bicicletas tipo caja, que oscilan entre \$ 2,500 y \$ 6,000 USD.



Triciclos de carga

Los triciclos o carritos para bicicletas generalmente cuentan con un marco alargado con dos ruedas en la parte delantera o trasera para mayor estabilidad, con una plataforma de carga, caja o asiento entre las dos ruedas. Wike, Pashley Cycles, Butchers & Bicycles, Johnny Loco, Bakfiets, Boxer Cycles y Virtue fabrican triciclos de carga, cuyo precio varía entre \$ 3,500 y \$ 5,000 USD.

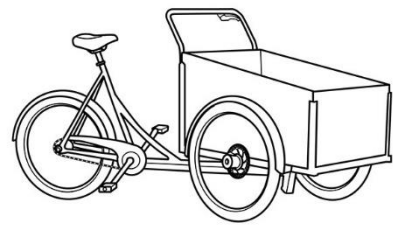


Tabla 7. Tipos de *cargo bikes*. Fuente: (Angus, 2015)

Anexo 2

País	Ciudad	Características importantes	Tipo de vehículo usado	Tipo de servicio	Referencia
Bélgica	Bruselas	Las entregas se ven afectadas por cuatro determinantes: <ul style="list-style-type: none"> - el tamaño del área de trabajo - la cantidad de paradas - los problemas en la entrega - las regulaciones urbanas. 	Convencional y cargo bikes.	Entrega de paquetes (mensajería).	(Rai et al., 2019)
Reino Unido	Cambridge, Edinburgh, Leeds, London and Manchester	Demuestra que el uso de transporte de pequeñas dimensiones (cargo bikes, bicicletas eléctricas y motos) mejoran la circulación del tránsito en las ciudades.	Cargo bikes, bicicletas eléctricas y motos.	Operadores logísticos (DHL, Hermes and TNT)	(Schliwa et al., 2015)
Estados Unidos	New York	Es necesario la implementación de los triciclos eléctricos o incluso entregas a pie ya que el tránsito en ciudades grandes colapsa para las entregas de última milla.	Triciclos y camionetas eléctricas	Operadores logísticos, supermercados y restaurantes.	(Conway et al., 2012)
Bélgica y Holanda		Los <i>cargo bikes</i> proporciona rápidas entregas a precios razonables y la reducción de emisiones de CO ₂ . Sin embargo, las empresas de transporte en bicicletas son pequeñas haciendo que el empleo no sea fijo.	<i>Cargo bikes</i> y bicicletas.	Mensajería	(Maes et al., 2011)

Brasil	Rio de Janeiro	de El uso del triciclo eléctrico es una alternativa más factible en los aspectos económicos, ambientales y sociales y el uso de estos triciclos no necesita incentivos públicos.	Triciclo eléctrico	Mensajería	(de Mello Bandeira et al., 2019)
Colombia	Bogotá	Se optimizó las rutas de entrega de seis tipos de frutas con seis automóviles con el fin de minimizar el costo de entrega.	Vehículo convencional	Alimentos perecederos.	(Orjuela Castro et al, 2019)
Colombia	Bogotá	Proyecto piloto que busca promover alternativas para resolver las necesidades actuales de la distribución final de carga en la ciudad, mediante el uso de bicicletas eléctricas	<i>Cargo bike</i> eléctrica.	Sector alimenticio, paquetería e insumos médicos.	(Bicicarga Bogotá, 2021)

Tabla 8. Características generales de los casos de estudio

Anexo 3

Ruta 1 – Belén

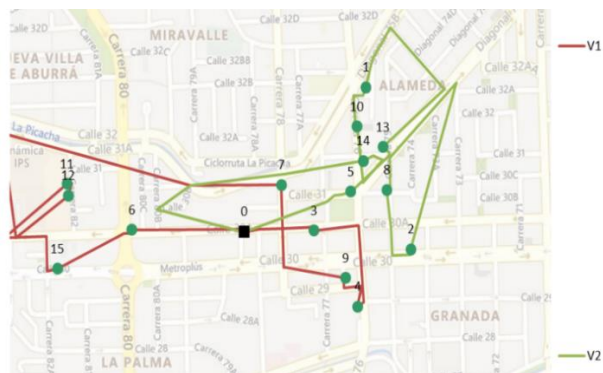


Figura 42. Ruta 1 – Belén

Ruta	No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida [km] acumulada	Tiempo de viaje [mn]	Carga [und]
1	0	CEDI		0.00	0:00	8
	1	Panadería 2	0.307	0.31	0:01	7
	2	Copoazú	0.276	0.58	0:02	6
	3	Crepes & Waffles	0.766	1.35	0:05	5
	4	J&C Delicias	0.029	1.38	0:05	4
	5	Panadería 3	1.408	2.79	0:10	3
	6	Panadería 4	0.401	3.19	0:12	2
	7	Ricuras La 76	0.114	3.30	0:13	1
	8	Panadería belén	0.31	3.61	0:15	0
	9	CEDI	0.204	3.82	0:16	0
2	0	CEDI		0.00	0:00	7
	1	Restaurante 1	0.994	0.99	0:04	6
	2	Panadería 5	0.309	1.30	0:05	5
	3	Zona Verde	0.148	1.45	0:06	4
	4	Asados Candela	0.602	2.05	0:08	3
	5	Belén Plaza	0.846	2.90	0:11	2
	6	La Riquísima	0.206	3.11	0:11	1
	7	Panadería 1	0.245	3.35	0:12	0
	8	CEDI	0.38	3.73	0:13	0

Tabla 9. Ruta 1 - Belén

Anexo 4

Ruta 3 – Bolivariana 2

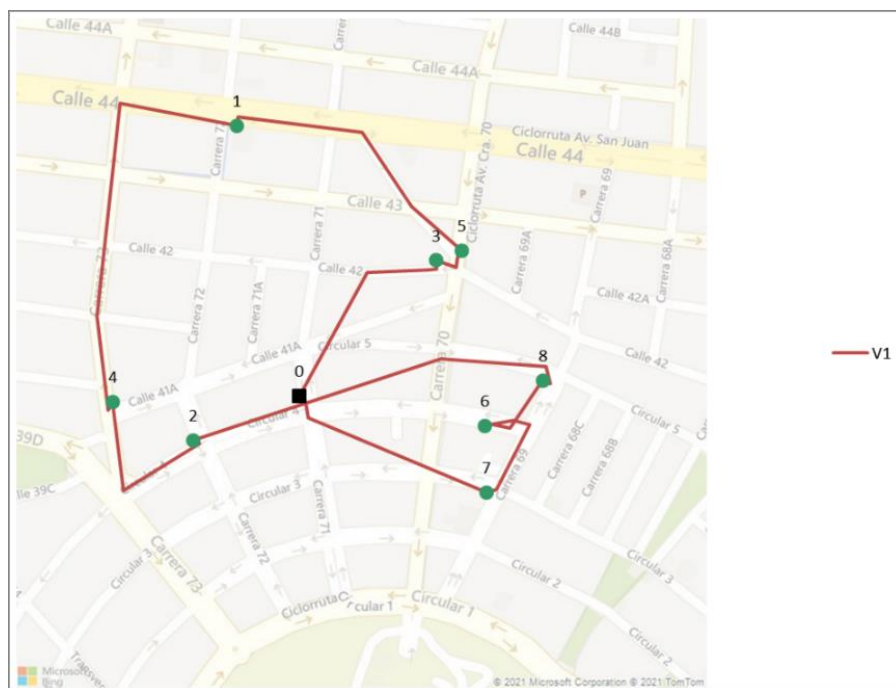


Figura 43. Ruta 3 – Bolivariana 2

Ruta	No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida acumulada [km]	Tiempo de viaje	Carga [und]
	0	CEDI	0	0.00	0:00	8
	1	Pico y Chao	0.295	0.30	0:02	7
	2	Pizzería Gatti	0.251	0.55	0:04	6
	3	Petisco	0.105	0.65	0:04	5
	4	Achiote. Menú del día 12000	0.482	1.13	0:06	4
1	5	Panecillo Pomodoro	0.199	1.33	0:07	3
	6	El CASERITO	0.479	1.81	0:09	2
	7	Mi Arroz	0.312	2.12	0:10	1
	8	Opera pizzería & Restaurante	0.034	2.16	0:10	0
	9	CEDI	0.281	2.44	0:12	0

Tabla 10. Ruta 3 – Bolivariana 2

Anexo 5

Ruta 4 – Poblado 1

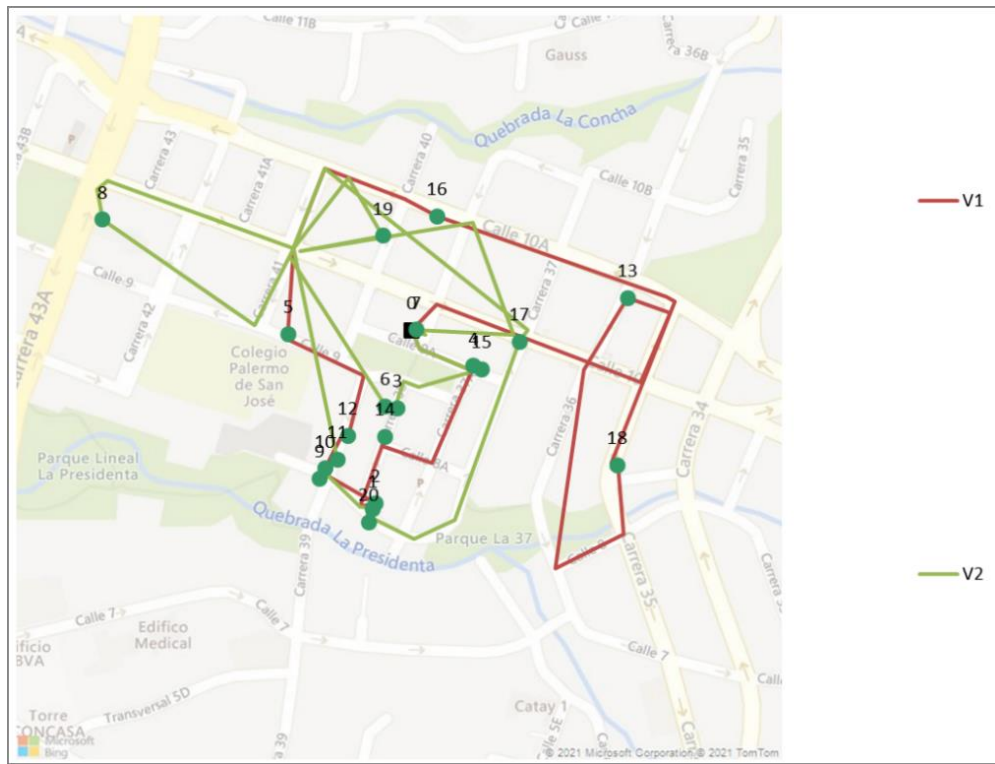


Figura 44. Ruta 4 – Poblado 1

Ruta No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida acumulada [km]	Tiempo de viaje [min]	Carga [und]
1	0 CEDI	0	0.00	0:00	10
	1 B-Lounge	0.397	0.40	0:03	9
	2 El Social	0.462	0.86	0:06	8
	3 Bendito seas	0.427	1.29	0:08	7
	4 Tropical Cocktails	0.321	1.61	0:10	6
	5 La 39 del Lleras	0.149	1.76	0:11	5
	6 Oye Bonita	0.045	1.80	0:11	4
	7 Contraporton	0	1.80	0:11	3
	8 Discoteca Oz	0.044	1.85	0:11	2
	9 Sky Bar Medellín	0.066	1.91	0:12	1
	10 Thaico	0.155	2.07	0:13	0
	11 CEDI	0.074	2.14	0:14	0

	0	CEDI	0	0.00	0:00	10
	1	Baren	0.002	0.00	0:00	9
	2	Calle 9 + 1	0.681	0.68	0:04	8
	3	Donde Chepe	0.553	1.24	0:07	7
	4	Calle Ocho	0.53	1.77	0:10	6
	5	Triada	0.073	1.84	0:10	5
2	6	la octava	0.005	1.84	0:10	4
	7	Buena Vista	0.277	2.12	0:11	3
	8	Sky bar Medellín 2	0.901	3.02	0:16	2
	9	Barcelona Restaurante Bar	0.001	3.02	0:16	1
	10	Bar 1	0.116	3.14	0:17	0
	11	CEDI	0.074	3.21	0:18	0

Tabla 11. Ruta 4 – Poblado 1

Anexo 6

Ruta 5 – Poblado 2

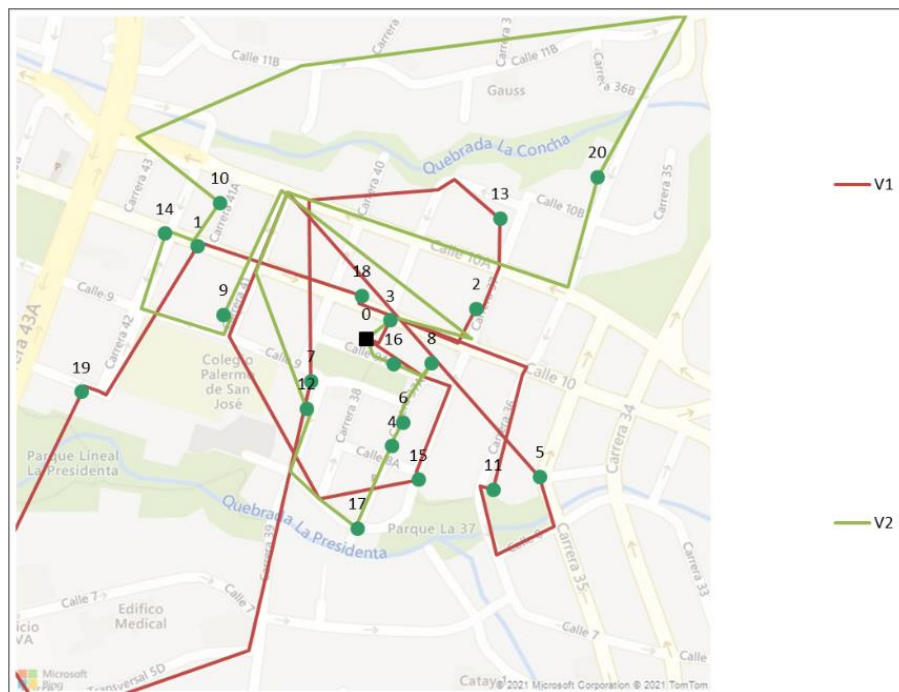


Figura 45. Ruta 5 – Poblado 2

Ruta	No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida acumulada [km]	Tiempo de viaje	Carga [und]
1	0	CEDI	0	0.00	0:00	10
	1	Bar 2	0.033	0.03	0:00	9
	2	Bar 1	0.136	0.17	0:01	8
	3	Click-clack	0.103	0.27	0:02	7
	4	Beer Store	0.612	0.88	0:05	6
	5	Café Zorba	1.077	1.96	0:09	5
	6	Berlín	0.258	2.22	0:11	4
	7	Mondongo's	0.185	2.40	0:12	3
		Hotel Boutique La Casa		2.74	0:14	2
	8	Medellín	0.337			
	9	Vintrash	0.214	2.96	0:15	1
	10	Bowls & brunch	1.166	4.12	0:21	0
11	CEDI	0.207	4.33	0:22	0	
2	0	CEDI	0	0.00	0:00	10
	1	ArtHotel	0.627	0.63	0:03	9
	2	Panadería 1	0.208	0.84	0:04	8
	3	Florencia Plaza	0.098	0.93	0:04	7
	4	Verdeo	1.223	2.16	0:08	6
	5	Hotel Casa Lleras	0.78	2.94	0:12	5
	6	Il Forno	0.167	3.10	0:13	4
	7	chupito	0.097	3.20	0:13	3
	8	la central bar	0.029	3.23	0:13	2
	9	The Charlee Hotel	0.056	3.29	0:13	1
	10	J&C Delicias	0.034	3.32	0:13	0
	11	CEDI	0.039	3.36	0:13	0

Tabla 12. Ruta 5 – Poblado 2

Anexo 7

Ruta 6 – Poblado 3

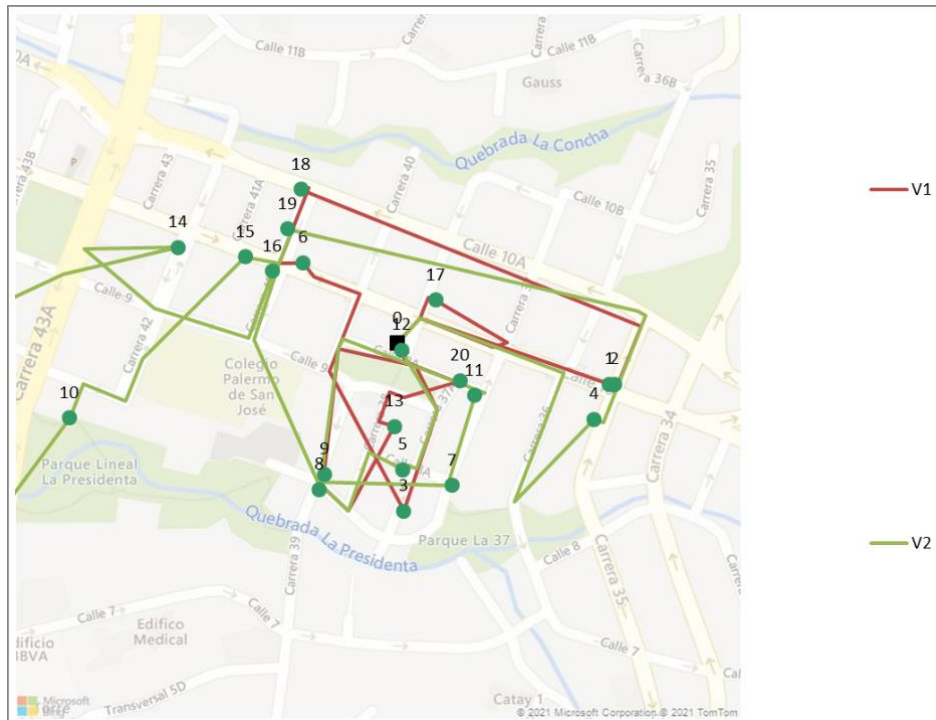


Figura 46. Ruta 6 – Poblado 3

Ruta No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida acumulada [km]	Tiempo de viaje	Carga [und]
0	CEDI	0	0.00	0:00	10
1	Yakul	0.385	0.39	0:02	9
2	Veg Station	0.232	0.62	0:03	8
	Medellín Beer		0.63	0:03	7
3	Factory	0.008			
4	Miceviche	0.468	1.09	0:05	6
5	Frisby	0.102	1.20	0:06	5
6	Hooters	0.431	1.63	0:08	4
7	Tropical BBQ	0.44	2.07	0:11	3
8	Restaurante 1	0.155	2.22	0:12	2
9	Lucia	0.122	2.34	0:13	1
10	Angel's	0.069	2.41	0:13	0

11	CEDI	0.005	2.42	0:13	0	
0	CEDI	0	0.00	0:00	10	
1	Burdo	0.624	0.62	0:03	9	
2	Mi Pico e' Gallo	0.551	1.18	0:06	8	
3	Sicilia in Bocca	0.046	1.22	0:06	7	
4	La Casa de Beto	0.482	1.70	0:08	6	
5	La Quintana	1.329	3.03	0:13	5	
2	6	La Jugosa	0.307	3.34	0:15	4
7	Mundo Verde	0.551	3.89	0:18	3	
8	Botánika Lounge	0.102	3.99	0:18	2	
9	Chelita Chingona	0.333	4.33	0:20	1	
10	Royal Thai	0.149	4.47	0:21	0	
11	CEDI	0.189	4.66	0:22	0	

Tabla 13. Ruta 6 – Poblado 3

Anexo 8

Ruta 7 – Poblado 4

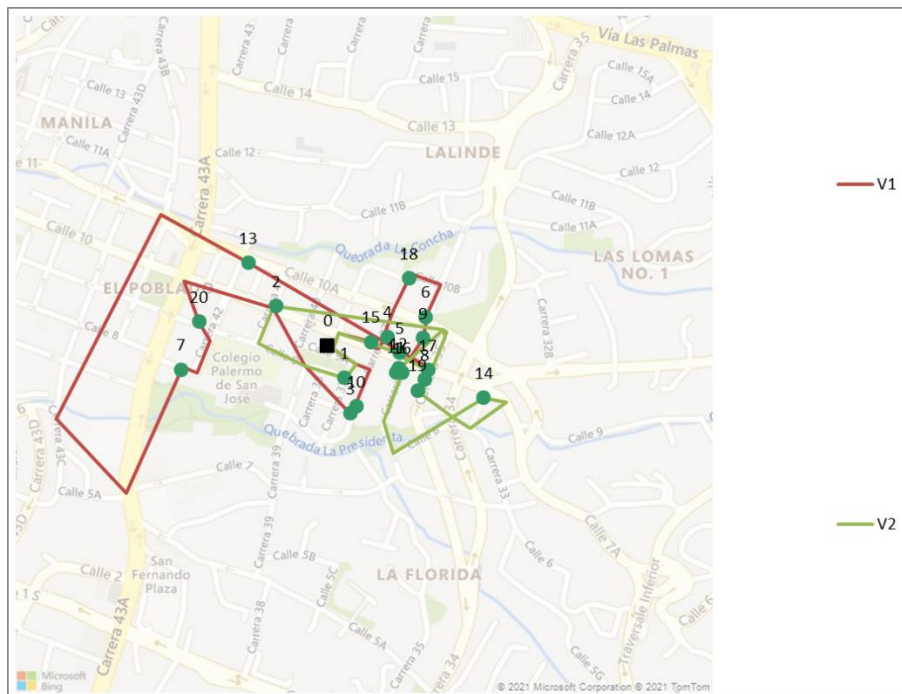


Figura 47. Ruta 7 – Poblado 4

Ruta	No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida [km] acumulada	Tiempo de viaje	Carga [und]
1	0	CEDI	0	0.00	0:00	10
	1	Turban Doner Kebap	0.115	0.12	0:01	9
	2	Restaurante 1	0.043	0.16	0:01	8
	3	Restaurante Justo	0.136	0.29	0:02	7
	4	Carmen	0.172	0.47	0:03	6
	5	Crepes y Waffles	0.042	0.51	0:04	5
	6	Douraku ramen japones	0.655	1.16	0:07	4
	7	Pizzería Donato	1.512	2.68	0:13	3
		Que SazÃ³n la del		2.85	0:14	2
	8	Paisita	0.176			
	9	Bonhomia	0.864	3.72	0:18	1
10	Acanto Repostería	0.013	3.73	0:18	0	
11	CEDI	0.193	3.92	0:19	0	
2	0	CEDI	0	0.00	0:00	10
	1	Restaurante 2	0.178	0.18	0:01	9
	2	Casa Comedor	0.064	0.24	0:01	8
	3	Sumo Ramen	0.265	0.51	0:04	7
	4	Bao Bei cocina asiática contemporánea	0.006	0.51	0:04	6
	5	Bao Bei	0.003	0.52	0:04	5
	6	La Taquería Comida Mexicana	0.45	0.97	0:06	4
	7	Gato	0.648	1.61	0:09	3
	8	Marietta	0.028	1.64	0:09	2
	9	Alambique	0.566	2.21	0:12	1
	10	Patria mía	0.563	2.77	0:15	0
11	CEDI	0.109	2.88	0:16	0	

Tabla 14. Ruta 7 – Poblado 4

Anexo 9

Ruta 8 – Poblado 5

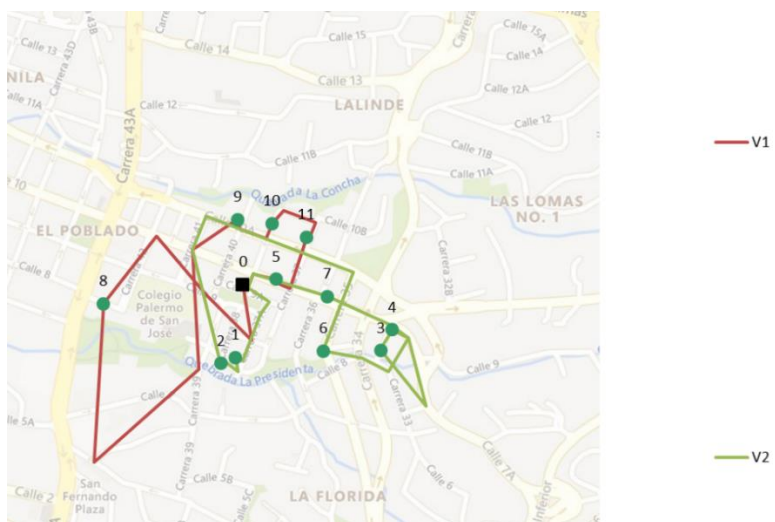


Figura 48. Ruta 8 – Poblado 5

Ruta	No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida [km] acumulada	Tiempo de viaje [min]	Carga [und]
1	0	CEDI	0	0.00	0:00	5
	1	Turban kabab house	0.087	0.09	0:01	4
		Barbaro Cocina		0.25	0:02	3
	2	Primitiva	0.166			
	3	Cafe dulcinea	0.166	0.42	0:03	2
	4	Kai restaurante \$ Zaaika indian	0.123	0.54	0:04	1
		restaurant \$		1.99	0:10	0
	5	restaurant \$	1.448			
	6	CEDI	1.009	3.00	0:16	0
2	0	CEDI	0	0.00	0:00	6
	1	Veg station	0.212	0.21	0:01	5
	2	Restaurante 3	0.624	0.84	0:04	4
	3	Restaurante 4	0.055	0.89	0:04	3
	4	Pezetarian (sushi) \$	0.587	1.48	0:06	2
	5	Restaurante 2	1.01	2.49	0:11	1
	6	Restaurante 1	0.079	2.57	0:11	0
	7	CEDI	0.228	2.80	0:13	0

Tabla 15. Ruta 8 – Poblado 5

Anexo 10

Ruta 9 – Poblado 6

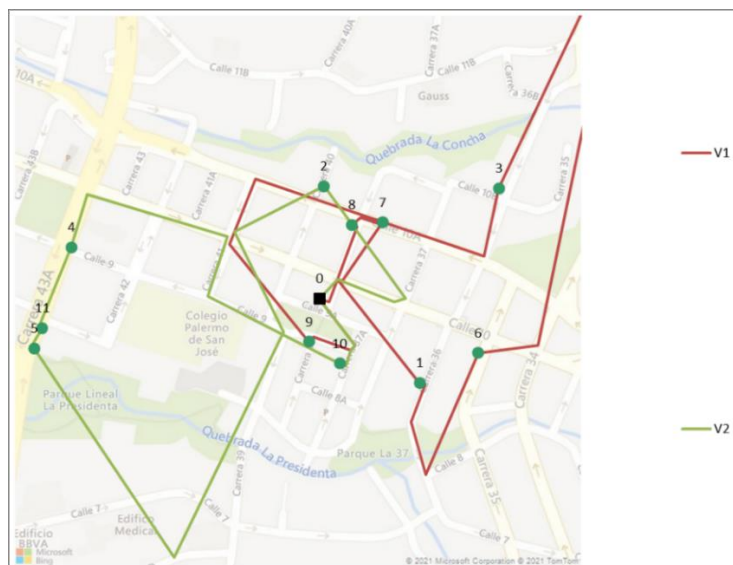


Figura 49. Ruta 9 – Poblado 6

Ruta No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida [km] acumulada	Tiempo de viaje [min]	Carga [und]
1	0 CEDI	0	0.00	0:00	6
	1 avec	0.287	0.29	0:02	5
	2 La Pesqueira	0.043	0.33	0:02	4
	3 Movie time	0.331	0.66	0:04	3
	4 Restaurante 1	0.344	1.01	0:06	2
	5 Verdeo	1.46	2.47	0:10	1
	6 Patria mia. colombia de lujo	1	3.47	0:15	0
	7 CEDI	0.163	3.63	0:16	0
2	0 CEDI	0	0.00	0:00	5
	1 El Cielo	0.408	0.41	0:02	4
	2 Pizza a la LeÃ±a	1.36	1.77	0:08	3
	3 SazÃ³n del Mar	0.032	1.80	0:08	2
	4 Doblepizza	0.113	1.91	0:09	1
	5 patrick's irish pub	0.824	2.74	0:13	0
	6 CEDI	0.13	2.87	0:14	0

Tabla 16. Ruta 9 – Poblado 6

Anexo 11

Ruta 10 – Florida Nueva

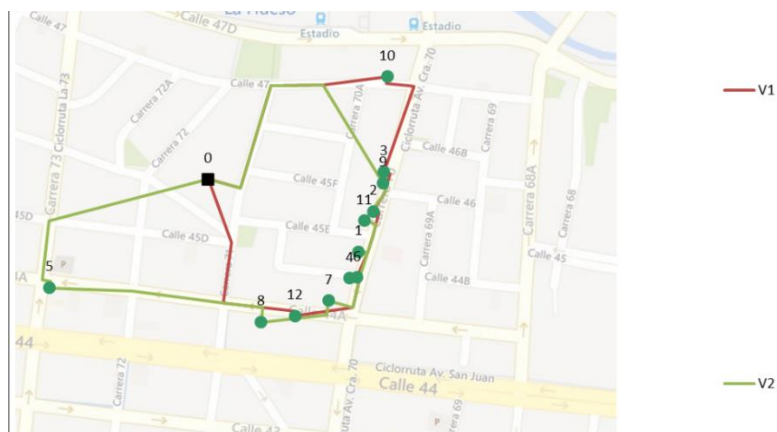


Figura 50. Ruta 10 – Florida Nueva

Ruta	No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida acumulada [km]	Tiempo de viaje	Carga [und]
1	0	CEDI	0	0.00	0:00	6
	1	Alma	0.283	0.28	0:01	5
	2	A pico de botella	0.151	0.43	0:02	4
	3	Bar 1	0.052	0.49	0:02	3
	4	Bar 4	0.084	0.57	0:02	2
	5	Bar 2	0.013	0.58	0:02	1
	6	Don Carlos Restaurant	0.137	0.72	0:03	0
	7	CEDI	0.242	0.96	0:04	0
2	0	CEDI	0	0.00	0:00	6
	1	El Colmado	0.449	0.45	0:02	5
	2	Las Margaritas	0.052	0.50	0:02	4
	3	Vinilo y Café©	0.04	0.54	0:02	3
	4	Hotel Merlott	0.114	0.66	0:03	2
	5	Obo Hotel	0.081	0.74	0:03	1
	6	Bar 3	0.269	1.01	0:04	0
	7	CEDI	0.367	1.37	0:05	0

Tabla 17. Ruta 10 – Florida Nueva

Anexo 12

Ruta 11 – La Candelaria 1

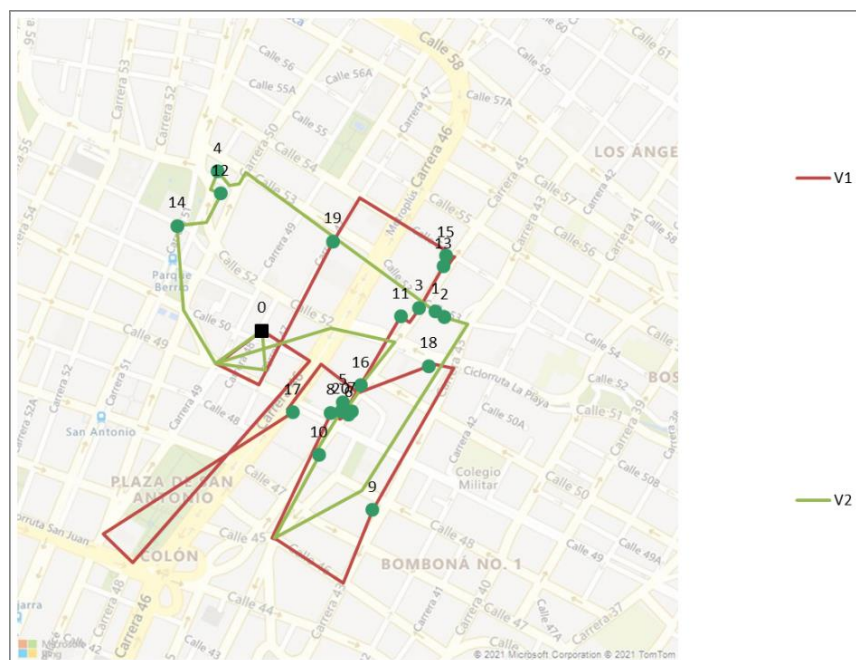


Figura 51. Ruta 11 – La Candelaria 1

Ruta No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida [km] acumulada	Tiempo de viaje	Carga [und]
0	CEDI	0	0.00	0:00	10
1	Al Pan Pan	1.535	1.54	0:06	9
2	Panaderia 1	0.469	2.00	0:08	8
3	Hotel San Ignacio	0.44	2.44	0:10	7
4	San JosÃ© Hotel	0.76	3.20	0:13	6
5	Hotel Panorama	0.031	3.24	0:13	5
6	45 Golden Hotel	0.246	3.48	0:14	4
7	Bar 1	0.039	3.52	0:14	3
8	Hotel Platino	0.112	3.63	0:14	2
9	Hotel Plaza Caracas	0.051	3.68	0:14	1
10	Expendio BIMBO	0.358	4.04	0:16	0
11	CEDI	0.623	4.66	0:18	0

	0	CEDI	0	0.00	0:00	10
	1	San Esteban center	0.634	0.63	0:02	9
	2	Residencias Nutibara	0.077	0.71	0:02	8
	3	Hotel Nutibara	0.028	0.74	0:02	7
	4	El Acontista	0.654	1.39	0:05	6
	5	Radio city	0.024	1.42	0:05	5
2	6	Hotel Sol & Luna	1.145	2.56	0:10	4
	7	Expendio Bimbo sanjose	0.112	2.67	0:10	3
	8	Hotel D'Leoni	0.003	2.68	0:10	2
	9	Hotel Paris	0.015	2.69	0:10	1
	10	Hotel Casa Linda	0.057	2.75	0:10	0
	11	CEDI	0.795	3.54	0:14	0

Tabla 18. Ruta 11 – La Candelaria 1

Anexo 13

Ruta 12 – La Candelaria 2

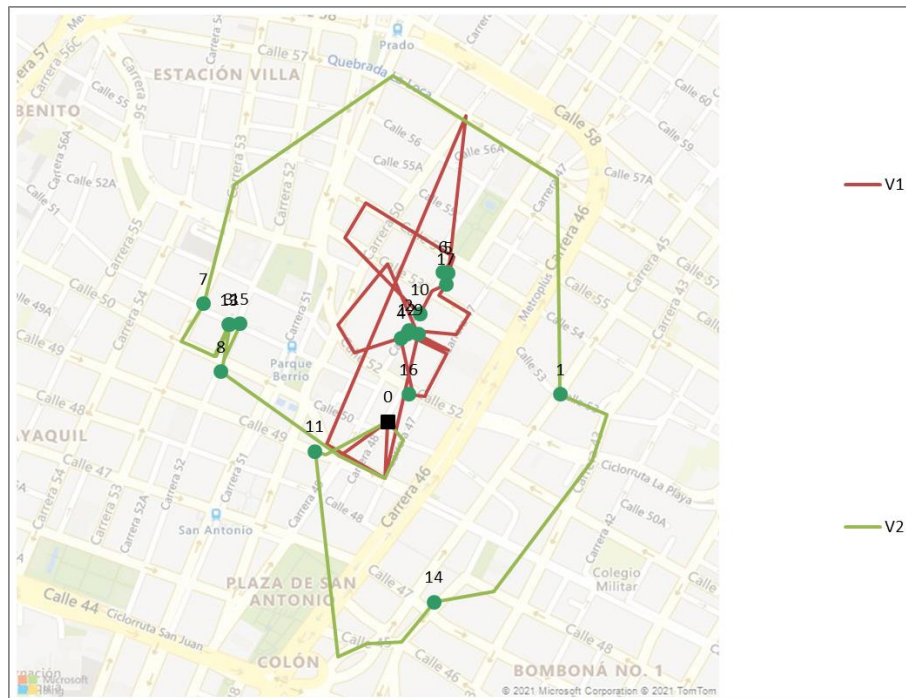


Figura 52. Ruta 12 – La Candelaria 2

Ruta	No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida [km] acumulada	Tiempo de viaje	Carga [und]
1	0	CEDI	0	0.00	0:00	9
	1	Versalles	1.647	1.65	0:06	8
	2	Restaurante 1	0	1.65	0:06	7
	3	Mi Pueblo 3	0.537	2.18	0:09	6
		empanadas	la	2.20	0:09	5
	4	troncudas	0.017			
	5	Balc3n de Comidas	0.167	2.37	0:10	4
	6	Deli Lunch	0.009	2.38	0:10	3
	7	Hatoviejo	0.137	2.51	0:10	2
	8	Mi Pueblo 1	0.085	2.60	0:10	1
	9	Hacienda	0.652	3.25	0:12	0
10	CEDI	0.563	3.81	0:14	0	
11						
2	0	CEDI	0	0.00	0:00	8
	1	Mi Pueblo 2	0.604	0.60	0:02	7
	2	Govinda's vegetarian restaurant - new location	0	0.60	0:02	6
	3	Cafetería Boyaca	0.017	0.62	0:02	5
	4	Govindas	0.003	0.62	0:02	4
	5	Restaurante 2	0.173	0.80	0:03	3
	6	El Pan de la Abuela	1.926	2.72	0:11	2
	7	Saludable	0.798	3.52	0:15	1
	8	Restaurante 3	1.152	4.67	0:19	0
9	CEDI	0.188	4.86	0:20	0	

Tabla 19. Ruta 12 – La Candelaria 2

Anexo 14

Ruta 13 – Laureles 1

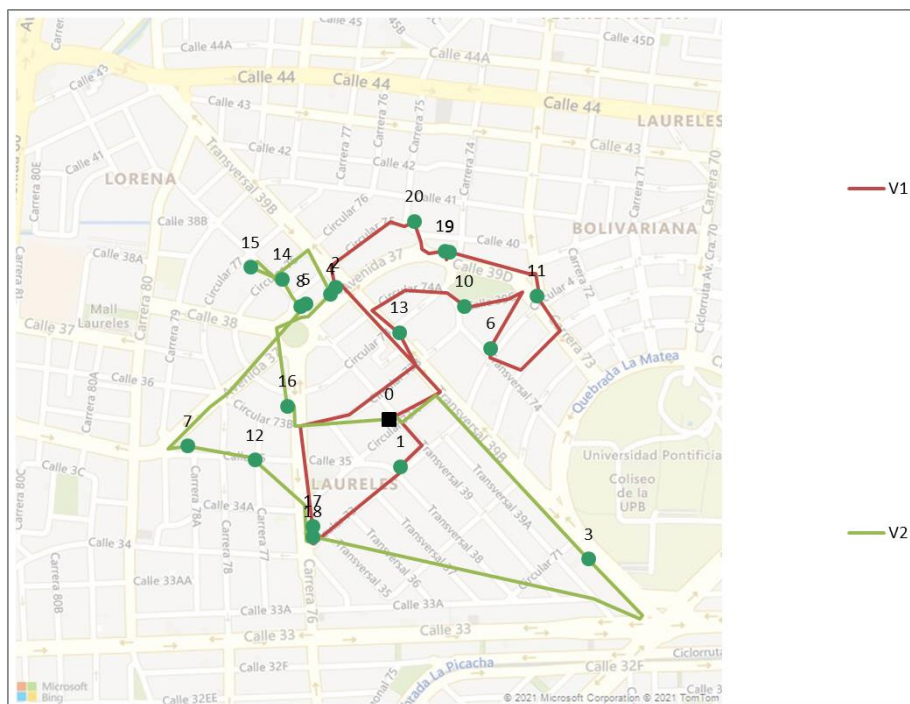


Figura 53. Ruta 13 – Laureles 1

Ruta	No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida [km] acumulada	Tiempo de viaje	Carga [und]
1	0	CEDI	0	0.00	0:00	10
	1	La Cava	0.168	0.17	0:01	9
	2	Caseritos Crepes & Waffles	0.297	0.47 1.06	0:02 0:04	8 7
	3	Laureles	0.597			
	4	Le Panetier	0.312	1.37	0:05	6
	5	Casa Hotel Laureles	0.305	1.68	0:06	5
	6	Cafe Revolucion Don Jacobo Postres y	0.338	2.02 2.26	0:08 0:10	4 3
	7	PonquÃ©s	0.244			
	8	Chiclayo	0.008	2.27	0:10	2
	9	La Pampa Argentina	0.132	2.40	0:11	1
	10	Romero	0.265	2.67	0:12	0
11	CEDI	0.447	3.11	0:13	0	

	0	CEDI	0	0.00	0:00	10
	1	Bar	0.618	0.62	0:02	9
	2	SUSHI taste	1.025	1.64	0:06	8
	3	La MiguerÃ-a	0.286	1.93	0:07	7
	4	Hotel Casa Laureles	0.149	2.08	0:07	6
	5	Inntu 1	0.541	2.62	0:09	5
2	6	Inntu	0.003	2.62	0:09	4
	7	PataCones	0.071	2.69	0:09	3
	8	La Pampa	0.064	2.76	0:09	2
	9	ping pong bar	0.287	3.04	0:11	1
	10	The Grill Station Burger	0.34	3.38	0:12	0
	11	CEDI	0.289	3.67	0:13	0
	12					

Tabla 20. Ruta 13 – Laureles 1

Anexo 15

14 Ruta 14 – Laureles 2

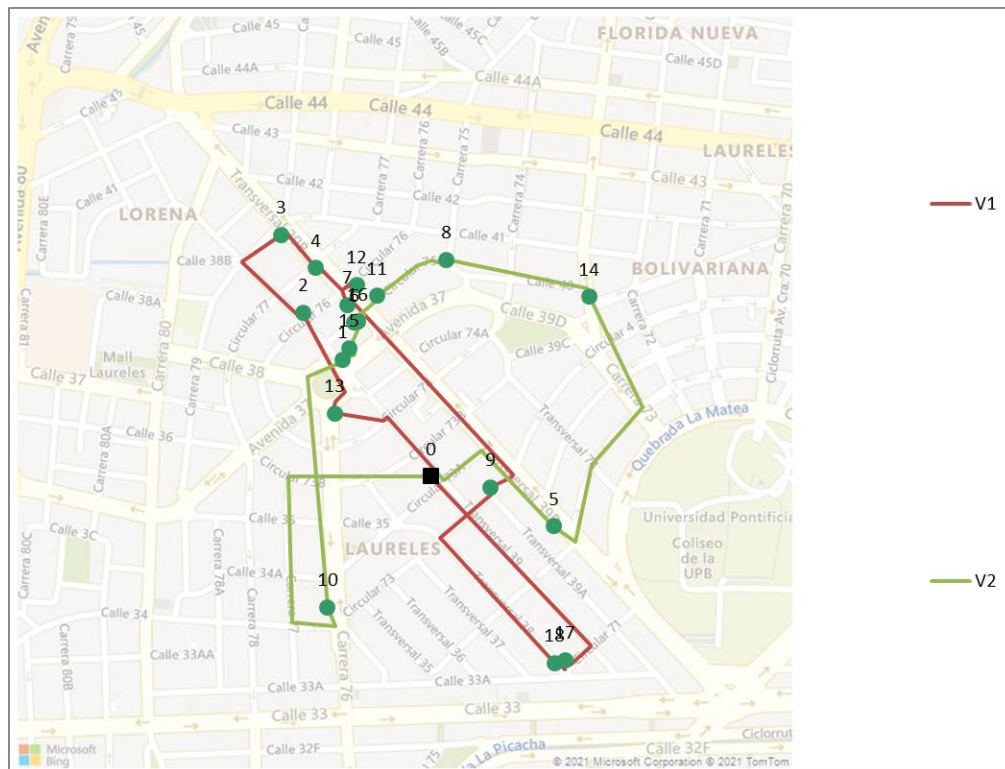


Figura 54. Ruta 14 – Laureles 2

Ruta	No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida acumulada [km]	Tiempo de viaje	Carga [und]
1	0	CEDI	0	0.00	0:00	9
	1	Trigo y Laurel	0.343	0.34	0:01	8
	2	Restaurante 1	0.241	0.58	0:02	7
	3	Jhohans	0.28	0.86	0:03	6
	4	Sushi World	0.085	0.95	0:03	5
	5	Frisby	0.105	1.05	0:03	4
	6	Chicago's	0.057	1.11	0:03	3
	7	Carnivoro	0.53	1.64	0:05	2
	8	Bollo Limpio	0.468	2.11	0:07	1
		Ricotta Food		2.15	0:07	0
	9	Fusion	0.037			
10	CEDI	0.518	2.66	0:09	0	
11						
2	0	CEDI	0	0.00	0:00	9
	1	Posdata	0.338	0.34	0:01	8
	2	Pane e Pomodoro	0.622	0.96	0:04	7
	3	Bar mexicano	0.296	1.26	0:05	6
	4	Federal Ribs	0.162	1.42	0:05	5
	5	Sushi Light	0.069	1.49	0:05	4
	6	Voraz	0.007	1.49	0:05	3
	7	EL D	0.135	1.63	0:06	2
	8	Siroka	0.024	1.65	0:06	1
	9	MDE CHORIZO	0.57	2.22	0:08	0
10	CEDI	0.747	2.97	0:10	0	

Tabla 21. Ruta 14 – Laureles 2

Anexo 16

Ruta 15 – Naranjal

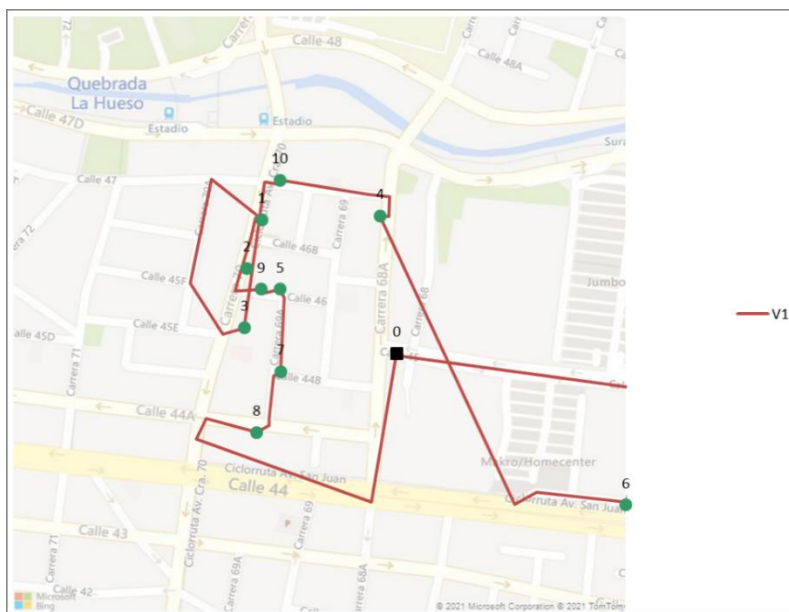


Figura 55. Ruta 15 – Naranjal

Ruta No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida [km] acumulada	Tiempo de viaje	Carga [und]
1	0 CEDI	0	0.00	0:00	10
	Zona de Comidas		0.53	0:03	9
	1 Homecenter	0.525			
	2 Almaviva Casa Hotel	0.667	1.19	0:06	8
	3 Piccolo	0.163	1.36	0:07	7
	4 Hotel Dorado La 70	0.202	1.56	0:08	6
	5 Bar 1	0.373	1.93	0:10	5
	6 El Chaparal de la 70	0.064	1.99	0:10	4
	7 Emilio	0.062	2.06	0:10	3
	8 Hotel Casona La 70	0.029	2.09	0:10	2
	La Proa pizzerÃ-a		2.19	0:10	1
9 artesanal	0.101				
10 El Cafe Tal 70	0.077	2.26	0:10	0	
11 CEDI	0.587	2.85	0:13	0	

Tabla 22. Ruta 15 – Naranjal

Anexo 17

Ruta 16 – Patio Bonito

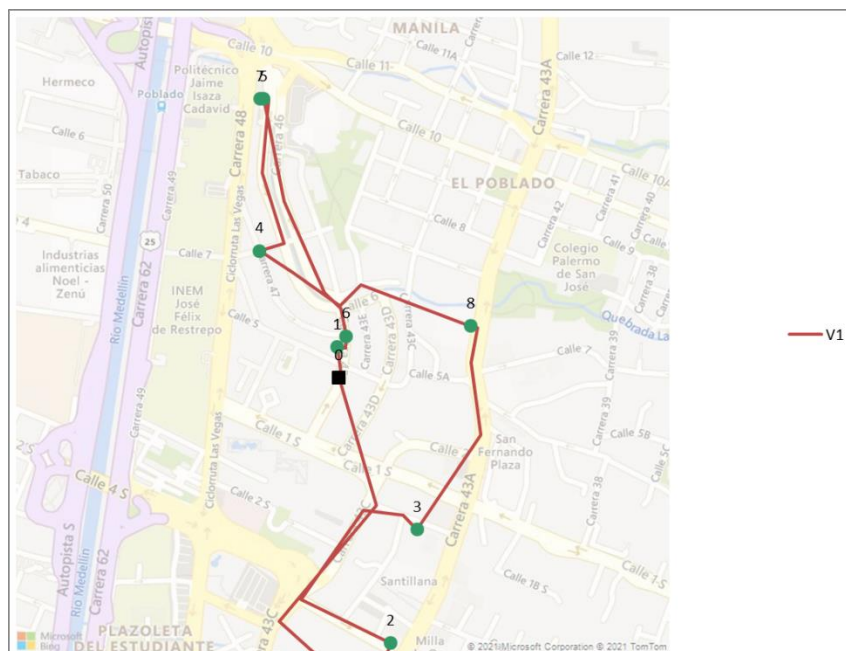


Figura 56. Ruta 16 – Patio Bonito

Ruta	No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida [km] acumulada	Tiempo de viaje	Carga [und]
	0	CEDI	0	0.00	0:00	8
	1	Hotel Sites	0.073	0.07	0:00	7
		Il carroto - trattoria		0.11	0:00	6
	2	pizzeria	0.033			
	3	Swiss Bakery	0.753	0.86	0:03	5
1	4	Arte Casero	0	0.86	0:03	4
	5	Panaderia 1	0.412	1.27	0:04	3
	6	El Corral	1.152	2.42	0:08	2
	7	Marriott	0.59	3.01	0:10	1
	8	City Express Plus	0.64	3.65	0:12	0
	9	CEDI	1.504	5.16	0:18	0

Tabla 23. Ruta 16 – Patio Bonito

Anexo 18

Ruta 17 – San Joaquín

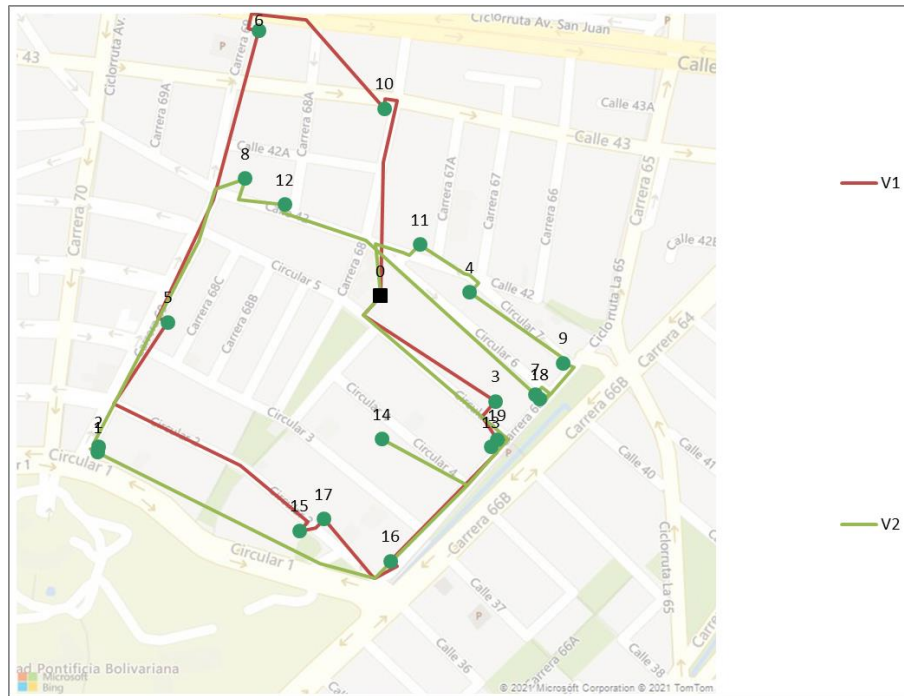


Figura 57. Ruta 17 – San Joaquín

Ruta No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida [km] acumulada	Tiempo de viaje	Carga [und]
0	CEDI	0	0.00	0:00	9
1	Suite Comfort	0.17	0.17	0:01	8
2	Parrilla punta y solomo	0.038	0.21	0:01	7
3	Panadería 1	0.018	0.23	0:01	6
	Charcuteria y Panadería		0.39	0:01	5
4	el Bolivariano	0.166			
1	El Rejo / Comida		0.50	0:01	4
5	Mexicana	0.111			
6	Luna Moré	0.011	0.51	0:01	3
7	Verony San Joaquín	0.357	0.87	0:02	2
8	Hotel	0.34	1.21	0:03	1
9	Trigal Panadería	0.246	1.46	0:04	0
10	CEDI	0.272	1.73	0:05	0
11					

Ruta	No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida acumulada [km]	Tiempo de viaje	Carga [und]
1	0	CEDI	0	0.00	0:00	9
	1	Kokorico Colombia	1.109	1.11	0:04	8
	2	Totras y Tortas	0.051	1.16	0:04	7
	3	Monarca	0.175	1.34	0:05	6
	4	TostaÃ³	0.036	1.37	0:05	5
	5	Meridiano	0.137	1.51	0:06	4
	6	Ciao Pizza Gourmet	0.628	2.14	0:08	3
	7	La Migueria	0.527	2.66	0:10	2
	8	Juan Fredo Café©	0	2.66	0:10	1
	9	Deli Arepas	0.038	2.70	0:10	0
	10	CEDI	0.134	2.84	0:10	0
2	11					
	0	CEDI	0	0.00	0:00	9
	1	El Café©	0.265	0.27	0:01	8
	2	El �rbol de la vida	0.099	0.36	0:01	7
	3	Comida Sana	0.019	0.38	0:01	6
	4	Due Amici	0.056	0.44	0:01	5
	5	Hotel Sauces del Estadio		1.47	0:05	4
	6	Lo Exquisito del Mar	1.032			
	7	james res	0.044	1.52	0:05	3
	8	Pescao Mojado	0.225	1.74	0:06	2
9	Pescao Mojado	0.085	1.83	0:07	1	
10	Flor de Loto	0.417	2.24	0:09	0	
	10	CEDI	0.051	2.29	0:09	0

Tabla 25. Ruta 18 – Suramericana

Anexo 20

Rutas barrios fuera del clúster

Ruta 1 – La Florida 1

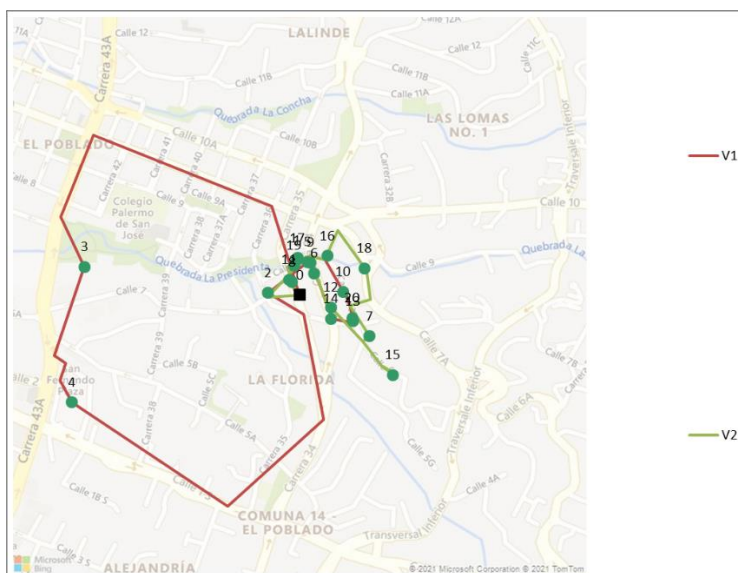


Figura 59. Ruta 1 – La Florida 1

Ruta	No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida acumulada [km]	Tiempo de viaje	Carga [und]
	0	CEDI	0	0.00	0:00	10
	1	Naan	0.047	0.05	0:00	9
	2	Lezzet Cafe Turco	0.069	0.12	0:00	8
	3	Tabun	0.18	0.30	0:00	7
	4	Restaurante 2	0.074	0.37	0:00	6
	5	La Cantine	0.017	0.39	0:00	5
1	6	Restaurante 1	0.061	0.45	0:00	4
	7	Hotel 1	0.14	0.59	0:00	3
	8	Junin	0.231	0.82	0:02	2
		Hotel San Fernando		2.25	0:07	1
	9	Plaza	1.426			
	10	Hotel Dann Carlton	0.396	2.64	0:09	0
	11	CEDI	1.31	3.95	0:15	0

	0	CEDI	0	0.00	0:00	10
	1	La FournÃ©e	0.039	0.04	0:00	9
	2	La Pizza De Alejo	0.06	0.10	0:00	8
	3	Panorama rooftop	0.013	0.11	0:00	7
	4	La Pampa Parilla		0.20	0:01	6
		Argentina	0.088			
	5	Betty's Bowls	0.223	0.42	0:02	5
2	6	Hotel 2	0.245	0.67	0:03	4
	7	Oci	0.121	0.79	0:03	3
	8	Ammazza	0.27	1.06	0:04	2
	9	Bogotá Beer Company	0.132	1.19	0:04	1
	10	Hotel Poblado Boutique Express	0.004	1.20	0:04	0
	11	CEDI	0.369	1.56	0:06	0
	12					

Tabla 26. Ruta 1 – La Florida 1

Ruta 2 – La Florida 2

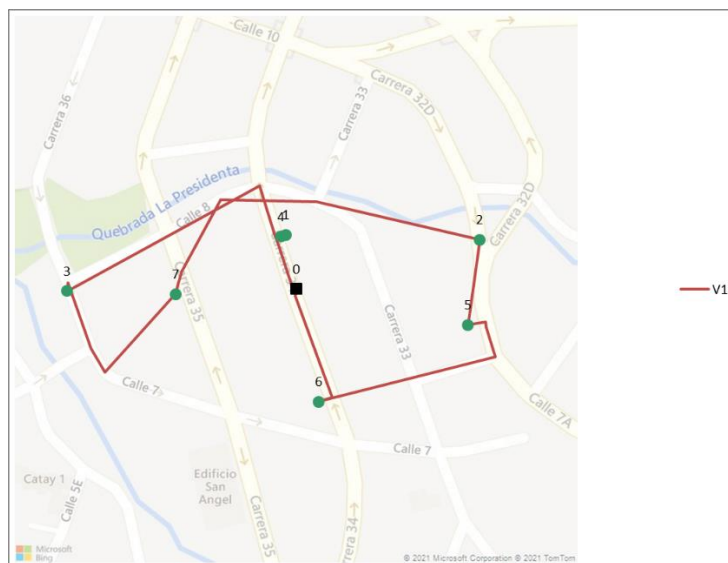


Figura 60. Ruta 2 – La Florida 2

Ruta No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida [km]	Tiempo de viaje	Carga [und]
		acumulada			
0	CEDI	0	0.00	0:00	7
1	Macanas	0.037	0.04	0:00	6
2	Restaurante 1	0	0.04	0:00	5
	Massi's grab and go		0.22	0:01	4
3	(italian) \$	0.184			
4	Restaurante 3	0.249	0.47	0:02	3
5	Betty's bowls	0.392	0.86	0:04	2
6	El Botánico	0.056	0.92	0:04	1
7	Restaurante 2	0.228	1.15	0:05	0
8	CEDI	0.078	1.22	0:05	0

Tabla 27. Ruta 2 – La Florida 2

Ruta 3 – Las Acacias

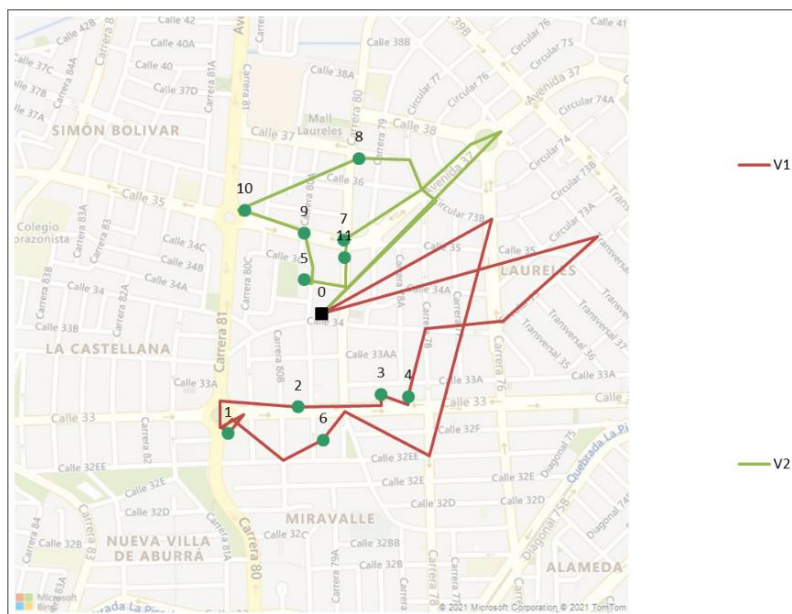


Figura 61. Ruta 3 – Las Acacias

Ruta	No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida [km] acumulada	Tiempo de viaje	Carga [und]
1	0	CEDI	0	0.00	0:00	5
		CIÃ-nica		0.87	0:04	4
		oftalmologica nueva				
	1	vision	0.799			
	2	Spazio	0.04	0.93	0:04	3
	3	Ping Pong Drinks	0.16	1.14	0:04	2
	4	Pippos Bar	0.156	1.82	0:07	1
2	5	OFEX	0.165	2.23	0:09	0
	6	CEDI	0.521	3.72	0:15	0
	0	CEDI	0	0.00	0:00	6
	1	Drogas la Rebaja	0.865	0.80	0:03	5
	2	Justo y Bueno	0.067	0.84	0:03	4
	3	EMCO S.A	0.203	1.00	0:03	3
	4	Sushi House	0.681	1.16	0:03	2
	5	Su	0.411	1.32	0:03	1
6	Gotel Golden	1.494	1.84	0:04	0	
7	CEDI	0	2.50	0:06	0	

Tabla 28. Ruta 3 – Las Acacias

Ruta 4 – Las Lomas No1

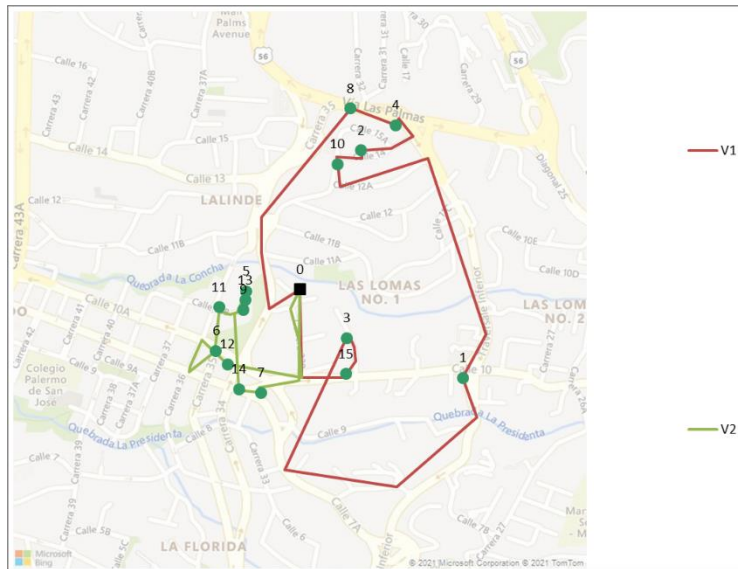


Figura 62. Ruta 4 – Las Lomas No1

Ruta No	Nombre	Distancia recorrida [km]	Distancia recorrida acumulada [km]	Tiempo de viaje	Carga [und]
1	0 CEDI	0	0.00	0:00	7
	1 restaurante Asia	0.734	0.73	0:02	6
	2 San Carbón	0.13	0.86	0:02	5
	3 Hotel Plaza Granada	0.214	1.08	0:03	4
	4 Restaurante 1	0.085	1.16	0:04	3
	Hotel Best Westren		2.21	0:08	2
	5 Sky Medellín	1.049			
	6 Hotel Premium Real	1.354	3.57	0:12	1
	7 Puro Perú	0.136	3.70	0:13	0
8 CEDI	0.312	4.01	0:14	0	
2	0 CEDI	0	0.00	0:00	8
	1 Restaurante 2	0.396	0.40	0:02	7
	2 Criminal Taquería	0.32	0.72	0:05	6
	3 Shanti Cocina Vital	0.313	1.03	0:07	5
	4 Federal Ribs	0.068	1.10	0:07	4

5	Bruno	0.047	1.14	0:07	3
6	La	0.024	1.17	0:07	2
7	Casa flam	0.438	1.61	0:11	1
8	El Corral	0.052	1.66	0:11	0
9	CEDI	0.31	1.97	0:12	0

Tabla 29. Ruta 4 – Las Lomas No1

Anexo 21

Prueba *Kruskal-Wallis* [*kruskal.test*]

α : 0.05 (nivel de significancia)

Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

Valor $p \leq \alpha$: Las diferencias entre algunas de las medianas son estadísticamente significativas

Valor $p > \alpha$: Las diferencias entre las medianas no son estadísticamente significativas

Variable	Valor-p Clúster 2	Nivel de significancia	Valor-p Clúster 3	Nivel de significancia
Panadería	0.02289	Estadísticamente significativa	9.454e-06	Estadísticamente significativa
Hoteles	6.411e-12	Estadísticamente significativa	2.2e-16	Estadísticamente significativa
Restaurantes	1.136e-07	Estadísticamente significativa	4.382e-12	Estadísticamente significativa
Bares	1.501e-07	Estadísticamente significativa	1.954e-08	Estadísticamente significativa
Farmacias	0.01296	Estadísticamente significativa	5.272e-07	Estadísticamente significativa

Hospitales	0.001856	Estadísticamente significativa	0.002816	Estadísticamente significativa
Cuidado de la salud	0.006821	Estadísticamente significativa	1.976e-05	Estadísticamente significativa
Centros comerciales	2.2e-16	Estadísticamente significativa	8.492e-15	Estadísticamente significativa
Supermercados	0.0005603	Estadísticamente significativa	8.467e-09	Estadísticamente significativa
Ciclovías	0.00109	Estadísticamente significativa	3.122e-10	Estadísticamente significativa
Parqueaderos	0.001058	Estadísticamente significativa	0.00581	Estadísticamente significativa
Pendientes	0.06748	Estadísticamente no significativa	0.001286	Estadísticamente significativa
No de negocios con ciclovía	0.0004341	Estadísticamente significativa	9.195e-13	Estadísticamente significativa
Ciclovía a 80 mt	1.275e-08	Estadísticamente significativa	1.153e-15	Estadísticamente significativa
Ciclovía a 160 mt	7.726e-10	Estadísticamente significativa	2.2e-16	Estadísticamente significativa
Ciclovía a 240 mt	1.643e-09	Estadísticamente significativa	2.2e-16	Estadísticamente significativa
Sentido de la ciclovía	0.002256	Estadísticamente significativa	2.064e-08	Estadísticamente significativa
Población	0.0004018	Estadísticamente significativa	0.2447	Estadísticamente no significativa
Estrato	2.2e-16	Estadísticamente significativa	2.2e-16	Estadísticamente significativa
Accidentes en bicicleta	0.0004992	Estadísticamente significativa	4.523e-09	Estadísticamente significativa
Hurtos de bicicletas	2.2e-16	Estadísticamente significativa	2.2e-16	Estadísticamente significativa

Tabla 30. Nivel de significancia de las variables de estudio comparadas con los diferentes clúster