

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**

“Análisis de factibilidad de la integración de Aerovía y  
Metrovía mediante rutas alimentadoras”

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Logística y Transporte**

Presentado por:

Liliana Franco Chilán

Oscar Anchundia Ordeñana

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

## DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado principalmente a las dos personas que me motivan a ser mejor persona cada día: mi madre que me mostró lo tangible que puede ser el cielo cuando se tiene persistencia y mi abuela por ser ejemplo de sacrificio y firmeza. Sin su amor y apoyo no me hubiese convertido en lo que soy. A mis amigos que me hicieron disfrutar la universidad y a mis compañeros que me impulsaron a conseguir la excelencia académica.

*Oscar Anchundia Ordeñana*

Este proyecto va dedicado especialmente a la persona más increíble de mi vida, a la persona que me ha enseñado a ser fuerte y perseverante. Esto te lo dedico a ti madre mía por alentarme y aconsejarme cada vez que mas lo necesitaba. A mi hermana que ha sido mi pilar fundamental para ser su ejemplo por seguir y a mi abuela por el amor incondicional. Gracias por su apoyo total durante esta etapa universitaria.

*Liliana Franco Chilán*

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios en primer lugar por ser el guía en cada etapa de mi carrera universitaria y de mi vida. A mi querida ESPOL por proveerme los conocimientos y herramientas necesarios previos a entrar al mundo profesional. A nuestra tutora que con su extenso conocimiento nos brindó las bases para el desarrollo del proyecto. A nuestro coordinador de carrera por su exigencia que nos llevó a los límites de la excelencia académica y al estimado personal de Aerovía por permitirnos desempeñar un papel colaborativo en sus operaciones.

*Oscar Anchundía Ordeñana*

Agradezco a Dios por brindarme las fortalezas y aptitudes necesarias para culminar mi etapa Universitaria. A los profesores que me guiaron y brindaron los conocimientos necesarios para ser una gran profesional, gracias por ser nuestros amigos y mentores. A mis amigos por hacerme parte de un grupo multidisciplinario de ideales y competencias, gracias por alegrarme los viernes. A una persona muy especial que estuvo desde el inicio hasta el final de esta etapa, gracias por el apoyo incondicional, por creer en mí y alentarme cuando más lo necesitaba. A nuestra tutora que nos guio durante este proyecto, gracias por su paciencia, consejos, enseñanzas y soporte durante este proceso importante para la vida profesional. Y a todas las personas que formaron parte de mi ciclo universitario y a los que colaboraron en los procesos finales para culminar este proyecto y lograr el objetivo, vivirán por siempre en mi corazón.

*Liliana Franco Chilán*

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Liliana Franco Chilán* y *Oscar Anchundia Ordeñana* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Oscar Anchundia  
Ordeñana



Liliana Franco Chilán

## EVALUADORES

.....  
M.Sc. Carlos Ronquillo Franco

PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
M.Sc. Alisson García Herrera

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Guayaquil cuenta desde el 2020 con el sistema aerosuspendido Aerovía que conecta la zona centro de la ciudad con el cantón aledaño Durán. A pesar de los recursos invertidos en este proyecto, no se obtuvo la demanda esperada promediando por día alrededor de un cuarto del total de pasajeros esperados.

La carencia de integración entre los sistemas existentes en la ciudad es un motivo que inhibe el desarrollo del servicio Aerovía, por lo cual se busca integrarlo con el BRT Metrovía a través de un bus alimentador para mejorar la accesibilidad del usuario. Para el diseño de la ruta del bus, se estableció el centro de la ciudad de Guayaquil como zona de estudio y se implementó un modelo TSP resuelto con una metaheurística de recocido simulado en PYTHON para la obtención de la ruta considerando los niveles de congestión, zonas generadoras de demanda y paraderos de Metrovía.

El resultado fue una ruta alimentadora representado en QGIS en calles con bajo nivel de tránsito anexada a la estación Parque Centenarios y 3 paraderos de Metrovía de los cuales uno es de una troncal diferente lo que expande la accesibilidad y provee un servicio competitivo para el traslado de Guayaquil a Durán y viceversa.

*Palabras clave: Integración, ruta, congestión, accesibilidad.*

## ABSTRACT

Since 2020, Guayaquil has had the Aerovía air-suspended system that connects the downtown area of the city with the neighboring canton of Durán. Despite the resources invested in this project, the expected demand was not obtained, averaging around a quarter of the total number of expected passengers per day.

The lack of integration between the existing systems in the city is a reason that inhibits the development of the Aerovía service, which is why it is sought to integrate it with the BRT Metrovía through a feeder bus to improve user accessibility. For the design of the bus route, the downtown area of the city of Guayaquil was established as the study area and a TSP model solved with a simulated annealing metaheuristic in PYTHON was implemented to obtain the route considering the levels of congestion, generating zones of demand and whereabouts of Metrovía.

The result was a feeder route represented in QGIS in streets with low traffic levels attached to the Parque Centenarios station and 3 Metrovía bus stops, one of which is on a different trunk line, which expands accessibility and provides a competitive service for transporting passengers from Guayaquil to Duran and vice versa.

*Key words: Integration, route, congestion, accessibility.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
ABSTRACT.....	II
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 <i>Objetivo General</i> .....	3
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	3
1.4 MARCO TEÓRICO.....	4
1.4.1 <i>Marco conceptual</i> .....	4
1.4.2 <i>Estado del arte</i> .....	11
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>15</b>
<b>2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>15</b>
2.1 INTRODUCCIÓN.....	15
2.2 FLUJOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	15
2.3 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN .....	16
2.3.1 <i>Zona de estudio</i> .....	16
2.3.2 <i>Análisis de los sectores con destino más frecuentados por usuarios de Aerovía</i> .....	33
2.3.3 <i>Análisis de la demanda de Aerovía</i> .....	36
2.3.4 <i>Análisis de sistemas de transportes</i> .....	40
2.4 MODELO MATEMÁTICO .....	43
2.5 ALGORITMO <i>SIMULATED ANNEALING</i> (IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO) .....	45
2.6 SOFTWARES UTILIZADOS .....	46
2.7 CONSIDERACIONES ÉTICAS Y LEGALES.....	47
2.8 CRONOGRAMA DE TRABAJO.....	49
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>50</b>
<b>3. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>50</b>
3.1 PARADEROS .....	50
3.2 ELABORACIÓN DE LA MATRIZ DE TIEMPOS DE VIAJE .....	64
3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO.....	66
3.3.1 <i>Resultado</i> .....	68



3.4	SECTORES ALTERNOS.....	70
3.5	ACCESIBILIDAD DE PARADEROS.....	73
3.6	ACCESIBILIDAD DE LA RUTA.....	79
3.7	SIMULACIÓN DE RUTAS ALTERNAS.....	80
3.7.1	<i>Ruta 2</i> .....	80
3.7.2	<i>Ruta 3</i> .....	81
3.7.3	<i>Comparación entre rutas</i> .....	82
3.8	INTEGRACIÓN ENTRE TRONCALES, AEROVÍA Y ALIMENTADOR.....	83
3.9	ANÁLISIS DE COSTOS.....	84
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>.....</b>	<b>88</b>
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>88</b>
4.1	CONCLUSIONES.....	88
4.2	RECOMENDACIONES.....	89
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>.....</b>	<b>91</b>
<b>APENDICE</b>	<b>.....</b>	<b>93</b>

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
TSP	Traveling Salesman Problem
BRT	Bus Rapid Transit
LOS	Level Of Service
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
LOTTTSV	Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1 NIVEL DE SERVICIO DE LA AUTOPISTA [FUENTE: MANNERING FRED, 2005] .....	6
FIGURA 1-2 MATRIZ OD [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	9
FIGURA 1-3 FLUJO VEHICULAR SIN LÍNEA CIRCULAR Y CON LÍNEA .....	12
FIGURA 1-4 MODELO DE RUTA DE BUS ALIMENTADOR [FUENTE: CAO ET AL., 2022] .....	13
FIGURA 2-1 FLUJOGRAMA DE ACTIVIDADES [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	16
FIGURA 2-2 USO SUELO DE LA ZONA DE ESTUDIO [FUENTE: GEOPORTAL DEL GAD MUNICIPAL DE GUAYAQUIL] .....	17
FIGURA 2-3 SUBZONA ESTE [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	18
FIGURA 2-4 SUBZONA OESTE [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	19
FIGURA 2-5 PARADEROS DE METROVÍA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	20
FIGURA 2-6 RUTA ALIMENTADORA CENTRO [FUENTE: METROVÍA] .....	21
FIGURA 2-7 RUTA ALIMENTADORA CENTRO [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	21
FIGURA 2-8 RUTA ALIMENTADORA BAHÍA – LAS PEÑAS [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	22
FIGURA 2-9 NIVEL DE TRÁFICO VEHICULAR DE LA SUBZONA ESTE [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	23
FIGURA 2-10 PUNTOS ESTRATEGICOS ALREDEDOR DE LA CALLE JUNÍN, LUIS URDANETA Y RIOBAMBA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	25
FIGURA 2-11 PUNTOS ESTRATEGICOS ALREDEDOR DE LA CALLE GABRIEL JOSÉ DE LUQUE, 9 DE OCTUBRE, 10 DE AGOSTO Y PEDRO MONCAYO [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	25
FIGURA 2-12 PARADEROS DE LA METROVÍA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	26
FIGURA 2-13 PARADEROS DE INTEGRACIÓN ENTRE LA TRONCAL 1 – 3 [FUENTE: MOOVIT].....	27
FIGURA 2-14 PARADEROS SIN INTEGRACIÓN ENTRE LA TRONCAL 3 Y 2 [FUENTE: MOOVIT] .....	27
FIGURA 2-15 NIVEL DE TRÁFICO VEHICULAR DE LA SUBZONA OESTE [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	29
FIGURA 2-16 PUNTOS ESTRATÉGICOS ALREDEDOR DE LA CALLE TULCÁN [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	31
FIGURA 2-17 PUNTOS ESTRATÉGICOS ALREDEDOR DE LA CALLE JOSÉ MASCOTE [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	31
FIGURA 2-18 PUNTOS ESTRATÉGICOS ALREDEDOR DE LA CALLE JOSÉ DE SUCRE [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	32
FIGURA 2-19 PUNTOS ESTRATÉGICOS ALREDEDOR DE LA Av. CIRCUNVALACIÓN SUR [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	32
FIGURA 2-20 PUNTOS ESTRATÉGICOS ALREDEDOR DE LAS CALLES CON MENOR NIVEL DE TRÁFICO VEHICULAR [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	33
FIGURA 2-21 SECTOR ROCAFUERTE [FUENTE: GOOGLE MAPS] .....	34
FIGURA 2-22 SECTOR ROCA [FUENTE: GOOGLE MAPS].....	34
FIGURA 2-23 SECTOR CENTENARIO [FUENTE: GOOGLE MAPS] .....	35
FIGURA 2-24 SECTOR BAHÍA [GOOGLE MAPS] .....	35
FIGURA 2-25 SECTOR 9 DE OCTUBRE [FUENTE: GOOGLE MAPS].....	36
FIGURA 2-26 DEMANDA PROMEDIO DE USUARIOS QUE USAN LA AEROVÍA. [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	37
FIGURA 2-27 DEMANDA DE USUARIOS POR CADA PARADA DE AEROVÍA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	38

FIGURA 2-28 DEMANDA PROMEDIO DE USUARIOS QUE USAN LA AEROVÍA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	38
FIGURA 2-29 VARIACIÓN DE DEMANDA SEGÚN EL TIPO PAGO EN AEROVÍA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	39
FIGURA 2-30 CANTIDAD DE USUARIOS AL MES POR CADA PARADA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	39
FIGURA 2-31 DEMANDA PROMEDIO POR DÍA SEGÚN EL TIPO DE TARIFA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	40
FIGURA 2-32 RUTA ALIMENTADORA CENTRO [FUENTE: MOOVIT] .....	41
FIGURA 2-33 RUTA DE TAXI RUTA [FUENTE: GOOGLE MAPS] .....	42
FIGURA 2-34 RUTA DE BUS DURAN “81-5” [FUENTE: MOOVIT] .....	42
FIGURA 2-35 DIAGRAMA DE FLUJO DEL ALGORITMO [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	46
FIGURA 2-36 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	49
FIGURA 2-37 DIAGRAMA DE GANTT (ACTIVIDADES) [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	49
FIGURA 3-1 NIVEL DE CONGESTIÓN EN RIOBAMBA [FUENTE: GOOGLE MAPS].....	50
FIGURA 3-2 PARADA ESTRATÉGICA EN RIOBAMBA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	51
FIGURA 3-3 NIVEL DE CONGESTIÓN EN CIRCUNVALACIÓN SUR [FUENTE: GOOGLE MAPS] .....	52
FIGURA 3-4 PARADA ESTRATÉGICA ENTRE JOSÉ MASCOTE Y CIRCUNVALACIÓN SUR [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	52
FIGURA 3-5 NIVEL DE CONGESTIÓN EN TULCÁN [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	53
FIGURA 3-6 TIPOS DE CARRILES EN LA CALLE TULCÁN [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	54
FIGURA 3-7 PARADA ESTRATÉGICA EN LA CALLE TULCÁN [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	55
FIGURA 3-8 CARRIL EXCLUSIVO DE METRO VÍA EN LA CALLE JOSÉ DE SUCRE [FUENTE: GOOGLE MAPS] .....	55
FIGURA 3-9 PARADA ESTRATÉGICA DE LA CALLE JOSÉ DE SUCRE [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	56
FIGURA 3-10 NIVEL DE CONGESTIÓN EN JOSÉ DE SUCRE, PEDRO MONCAYO Y 9 DE OCTUBRE [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	57
FIGURA 3-11 CARRIL EXCLUSIVO METROVÍA PEDRO MONCAYO [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	58
FIGURA 3-12 PARADA ESTRATÉGICA EN PEDRO MONCAYO [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	58
FIGURA 3-13 NIVEL DE CONGESTIÓN EN LUIS URDANETA Y JUNÍN [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	59
FIGURA 3-14 PARADA ESTRATÉGICA EN LA CALLE LUIS URDANETA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	60
FIGURA 3-15 NIVEL DE CONGESTIÓN EN JOSÉ DE LUQUE [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	60
FIGURA 3-16 PARADA ESTRATÉGICA DE CALLE JOSÉ DE LUQUE [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	61
FIGURA 3-17 NIVEL DE CONGESTIÓN EN CALLE JOSÉ MASCOTE Y ESMERALDAS [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	62
FIGURA 3-18 PARADEROS ESTRATÉGICOS EN CALLE JOSÉ MASCOTE [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	63
FIGURA 3-19 TOTAL DE PARADEROS ASIGNADOS PARA LA RUTA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	63
FIGURA 3-20 RED VIAL QUE ABARCA TODOS LOS RECORRIDOS [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	64
FIGURA 3-21 RUTA ALIMENTADOR (AF1) [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	67
FIGURA 3-22 TIEMPO DE VIAJE EN BUS [FUENTE: GOOGLE MAPS].....	69
FIGURA 3-23 TIEMPO DE CAMINATA [GOOGLE MAPS] .....	69
FIGURA 3-24 COMPARACIÓN DE SECTORES Y RUTA ALIMENTADOR ‘CENTRO’ [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	71
FIGURA 3-25 PARADEROS EXISTENTES EN SECTOR BAHÍA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	72
FIGURA 3-26 COMPARACIÓN ENTRE SECTORES DE ROCA, ROCAFUERTE Y CENTENARIO [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	73
FIGURA 3-27 ESCALA DE TIEMPOS DE CAMINATA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	73

FIGURA 3-28 ISÓCRONA DE LA PARADA VICENTE ROCAFUERTE [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	74
FIGURA 3-29 ISÓCRONAS DE LAS PARADAS ESMERALDA Y JOSÉ DE LUQUE [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	75
FIGURA 3-30 ISÓCRONAS DE LAS PARADAS FEDERACIÓN Y COLEGIO SANTA ANA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	76
FIGURA 3-31 ISÓCRONA DE LA PARADA CIRCUNVALACIÓN SUR [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	77
FIGURA 3-32 ISÓCRONAS DE LAS PARADAS RIOBAMBA Y LUIS URDANETA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	78
FIGURA 3-33 ISÓCRONA DE LA PARADA PLAZA CENTENARIO [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	79
FIGURA 3-34 ESCALA DE TIEMPO DE CAMINATA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	79
FIGURA 3-35 ISÓCRONA DE LA RUTA FACTIBLE [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	80
FIGURA 3-36 SIMULACIÓN DE RUTA 2 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	81
FIGURA 3-37 PUNTOS PARA GENERAR RUTA 3 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	81
FIGURA 3-38 SIMULACIÓN DE RUTA 3 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	82
FIGURA 3-39 COMPARACIÓN ENTRE RUTA SIMULADA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	83
FIGURA 3-40 INTEGRACIÓN ENTRE TRONCALES, AEROVÍA Y ALIMENTADOR .....	83
FIGURA 3-41 RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS APLICADAS .....	85
FIGURA 3-42 CANTIDAD DE USUARIOS QUE TOMARÍAN EL SERVICIO DEL BUS POR TARIFA AGREGADA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	86
FIGURA 3-43 PROYECCIÓN DE USUARIOS DE AEROVÍA QUE TOMARÍAN EL BUS .....	86
FIGURA 3-44 UTILIDADES ANUALES DE ACUERDO A LA TARIFA AGREGADA AL USO DEL SERVICIO DEL BUS [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	87
FIGURA 0-1 PARADA DE LA PLAZA DEL CENTENARIO [FUENTE: METROVÍA].....	93
FIGURA 0-2 PARADA DE INTEGRACIÓN ENTRE LA TRONCAL 1 Y 3 [FUENTE: METROVÍA] .....	93
FIGURA 0-3 POSIBLES PARADAS DE INTEGRACIÓN ENTRE LA TRONCAL 3 Y 2 .....	94
FIGURA 0-4 TRES ZONAS HORARIAS DEL LUNES [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	95
FIGURA 0-5 TRES ZONAS HORARIAS DEL MARTES [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	96
FIGURA 0-6 TRES ZONAS HORARIAS DEL JUEVES [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	97
FIGURA 0-7 TRES ZONAS HORARIAS DEL VIERNES [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	98
FIGURA 0-8 TRES ZONAS HORARIAS DEL LUNES [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	99
FIGURA 0-9 TRES ZONAS HORARIAS DEL MARTES [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	100
FIGURA 0-10 TRES ZONAS HORARIAS DEL JUEVES [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	101
FIGURA 0-11 TRES ZONAS HORARIAS DEL VIERNES [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	102
FIGURA 0-12 FORMULARIO PARA REGISTRAR INFORMACIÓN DE RUTAS ALIMENTADORAS [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	103
FIGURA 0-13 FORMULARIO PARA REGISTRAR INFORMACIÓN DE TAXI RUTA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	103
FIGURA 0-14 FORMULARIO PARA REGISTRAR INFORMACIÓN DE BUSES QUE VAN A DURÁN [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	104
FIGURA 0-15 ALGORITMO EN PYTHON [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2-1 TIPO DE USO SUELO [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	17
TABLA 2-2 ESCALA DE COLOR DEL TRÁFICO [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	22
TABLA 2-3 ESCALA DE COLORES [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	28
TABLA 2-4 PARÁMETROS Y VARIABLES DEL MODELO MATEMÁTICO [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	43
TABLA 3-1 DISTANCIAS ENTRE PARADAS [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	65
TABLA 3-2 PARADAS ASIGNADAS [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	65
TABLA 3-3 MATRIZ DE TIEMPOS DE VIAJE ENTRE PARADAS [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	66
TABLA 3-4 RESULTADO DE LA RUTA [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	67
TABLA 3-5 [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	83
TABLA 3-6 RUTA DE CADA TRONCAL [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA] .....	84
TABLA 3-7 INTEGRACIÓN ENTRE RUTAS [FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA].....	84

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Las grandes urbes en expansión se exponen continuamente a problemas de movilidad consecuente del aumento del tráfico vehicular. Cada vez más familias tienen la facilidad de adquirir un auto propio y como resultado de su uso se contemplan numerosos congestionamientos en Guayaquil donde el empleo de los vehículos particulares no está restringido.

Esta situación también afecta a los usuarios del transporte público de la ciudad. Los elevados niveles de tráfico dan como resultado incrementos en los tiempos de viaje, costos de viaje, niveles de ruido y contaminación del aire, además de retrasos imprevistos y un aumento en el número de accidentes de tránsito (Nikolić & Teodorović, 2013).

Gracias a su gran zona industrial y su cercanía con Guayaquil, Durán se ha convertido en un destino diario de muchas personas que viajan al cantón aledaño por trabajo. La movilización entre estos dos sectores produce gran aglomeración de vehículos en horas pico en todas las vías de ida y vuelta. Esto impulsó a La Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil a presentar el proyecto del sistema de transporte por cable "Aerovía" en 2015 que pretendía ser una solución complementaria para aligerar la congestión, es decir, sin redireccionar o eliminar alguna ruta de transporte de los otros sistemas como los buses urbanos o restringir el acceso a las vías habituales entre estos cantones.

El proyecto reflejaba ventajas importantes sobre los otros modos de transporte: sistema limpio sin emisiones de CO<sub>2</sub>, menor tiempo de viaje, unidades exclusivas y con llegadas ininterrumpidas y una atracción turística para la ciudad. Sin embargo, desde su inauguración no se ha cumplido con la demanda esperada de pasajeros lo que resulta en pérdidas económicas para el consorcio.

Con la intención de aumentar el número de usuarios del sistema por cable, la empresa encargada de la Aerovía, el Consorcio Aerosuspendido de Guayaquil indaga en la posibilidad de establecer una integración con otros sistemas de transporte de Guayaquil.

Entre los sistemas que destacan se encuentra el segundo BRT del Ecuador, el Sistema Integrado de Transporte Urbano Masivo de Guayaquil Metrovía cuyo inicio de operaciones se remonta al 2006.

La integración se la realizaría a través de una ruta alimentadora y este proyecto analiza el diseño de esa ruta considerando aspectos importantes como el tiempo de viaje, flota de buses, entre otros, los cuales serían planteados como parámetros en un modelo para la construcción de la ruta y edificar las bases para una implementación futura.

### **1.1 Descripción del problema**

La ciudad de Guayaquil desde el 2020 cuenta con el sistema de transporte masivo de pasajeros aerosuspendido Aerovía. Este servicio tiene tres paraderos integrados de embarque y desembarque de pasajeros en Guayaquil y un terminal en Durán. El propósito de la Aerovía es reducir el tiempo de viaje y evitar el tráfico vehicular que se da en horas pico sobre el puente de la Unidad Nacional. Se esperaba tener una demanda aproximada de 40.000 pasajeros por día, pero a pesar del tiempo que tiene implementado el servicio aerosuspendido, la demanda no aumentó.

Según los reportes de vidas transportadas en Aerovía emitidos por (ATM, 2021) el promedio de pasajeros por día desde su inauguración hasta agosto del 2021 es 10.654, un poco más de un cuarto del total esperado.

Existen varios factores por los que el usuario no utiliza la Aerovía. Uno de ellos es la carencia de integración del transporte público urbano y transporte aerosuspendido. Esta brecha inexistente impide la conexión entre paraderos de ambos servicios siendo inaccesible los intercambios de rutas para agilizar la movilidad entre varios puntos estratégicos de ciertos sectores con alta demanda de pasajeros en la ciudad como universidades, bancos, comedores, etc.

Es importante considerar que Durán es un sector productivo, es decir, que gran parte de los usuarios de Guayaquil se trasladan a Durán por motivos laborales. Esto ocasiona la congestión vehicular en horas pico, un mayor tiempo de viaje y molestias al usuario.



## **1.2 Justificación del problema**

La mala planificación de rutas de transporte incurre en mayores costos de operación, mal funcionamiento de equipos, deficiencia de personal asignado, entre otros. Esto conlleva a una posible pérdida económica por lo que se debe abordar un estudio preliminar acerca de las necesidades de los usuarios antes de implementar infraestructura vial.

Como consecuencia a la mala planificación de rutas se tiene la baja demanda de usuarios en un servicio de transporte. En el caso del servicio aerosuspendido, no alcanzó la demanda proyectada ya que no existe una integración con otro servicio de transporte urbano que incentive al pasajero el uso de estos sistemas. Por otra parte, el acceso a la Aerovía y Metrovía está limitado por una ruta fija y específica que no considera algunos puntos estratégicos con mayor número de usuarios de algunos sectores de Guayaquil como es el centro de la ciudad donde existe diferentes espacios como por ejemplo parques, bancos, restaurantes, iglesias, etc.

Es necesario implementar una ruta alimentadora que favorezca la movilidad del usuario y lo traslade de estos puntos a su destino final, brindando un servicio de confianza e incluso que se integren estos medios de transporte para aumentar la demanda de la Aerovía especialmente a los usuarios que van de Guayaquil a Durán.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar una ruta alimentadora integrando Aerovía con el sistema de transporte urbano Metrovía por medio de una herramienta de planificación de tráfico para el mejoramiento de la accesibilidad al servicio aerosuspendido.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Levantar información en la zona de estudio a través del análisis de otros sistemas de transporte, congestión vehicular y zonas generadoras de demanda para identificar las áreas que correspondan a los puntos de paradas.

- Identificar las paradas que se integran con otras zonas de la ciudad mediante análisis de conectividad para la obtención de nodos de la ruta de transporte.
- Diseñar una ruta de transporte mediante un modelo matemático para minimizar el tiempo de viaje integrando Metrovía con Aerovía.
- Evaluar la ruta alimentadora mediante una macro simulación utilizando el software QGIS para analizar la accesibilidad.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Marco conceptual**

#### ***1.4.1.1 Transporte público de pasajeros***

Según la Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial el transporte público de pasajeros está definido como un transporte que realiza rutas establecidas desde un origen a un destino con paradas intermedias sujeto a una tarifa (ECUADOR, 2008).

El tipo de servicio de transporte terrestre público de pasajeros es el transporte colectivo y el transporte masivo de pasajeros.

#### ***1.4.1.2 Transporte colectivo***

El transporte colectivo de pasajeros puede contar con una estructura exclusiva y se rigen a un itinerario, tarifa, tiempos y niveles de servicio.

#### ***1.4.1.3 Transporte masivo***

El transporte masivo de pasajeros cuenta con vías exclusivas que pueden ser elevadas, a nivel o subterráneas que son diseñadas para brindar mejor nivel de servicio. Este servicio de transporte se rige a un itinerario, horarios, tarifa y niveles de servicio.

#### ***1.4.1.4 Características generales de transporte***

La demanda de transporte es derivada, es decir, que los viajes se dan por la necesidad de realizar una actividad específica en el destino. Por ejemplo, recreación, trabajo, compras, etc.

Se considera que la demanda depende de la ubicación, por eso es muy importante zonificar el área de estudio y especificar la red de transporte de una forma estratégica para ser procesada. Hay que tener en cuenta que puede haber problemas que afecten directamente al equilibrio de la oferta-demanda.

Hay que considerar que un servicio de transporte tiene consecuencias ya que no se pueden hacer reservas para ser utilizado en periodos donde existe mayor demanda. Por eso, si el servicio de transporte no se usa cuando se produce, entonces se pierde (Ortuzar, 2015).

La oferta de transporte conlleva una variedad de consecuencias económicas que pueden ocasionar fuertes alteraciones como por ejemplo los accidentes, contaminación atmosférica e intensos ruidos. Estos efectos muchas veces no son considerados por los usuarios por lo que se vuelve difícil tomar una decisión para ser mejorados.

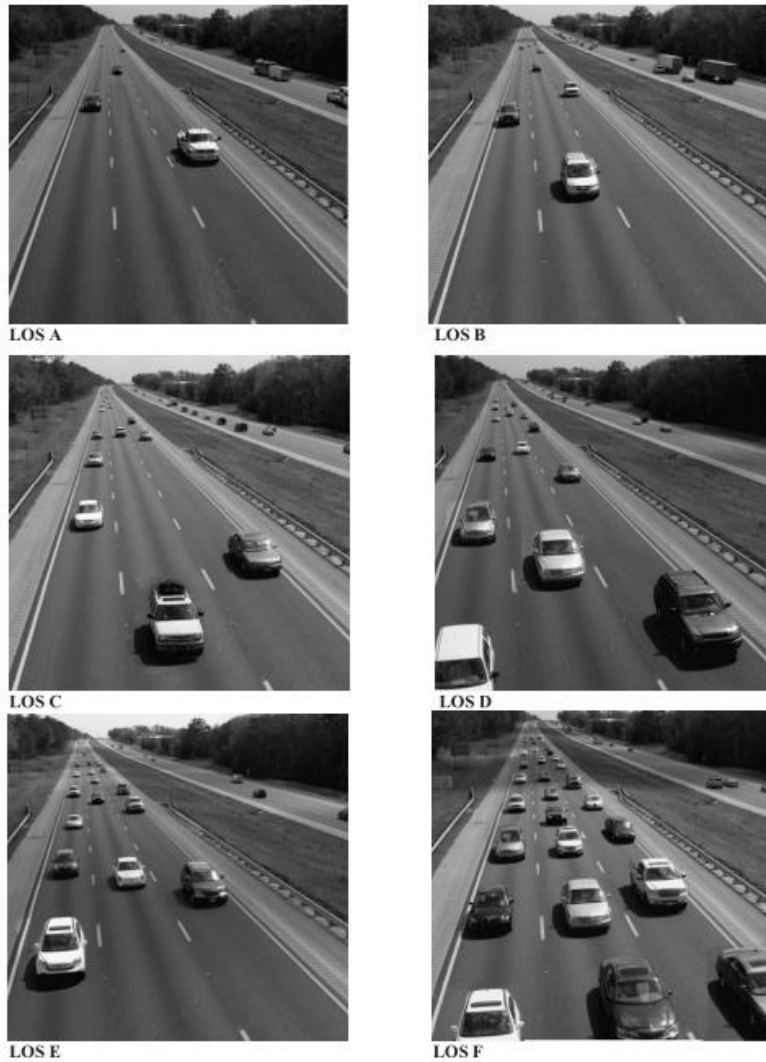
#### **1.4.1.5 Red lógica y eficiente**

Para establecer una red lógica y eficiente se deben considerar varios aspectos como la distancia entre intersecciones, continuidad de vialidades, accesibilidad, etc. Esto sucede porque la definición de vialidades se complica cuando se trata en áreas urbanas por el uso suelo y por alta demanda por lo que se dificulta generar viajes.

#### **1.4.1.6 Niveles de servicio**

El nivel de servicio o más conocido como *level of service* (LOS), es una herramienta cualitativa que sirve para medir la calidad de flujo vehicular. Se analiza a través de las condiciones operativas de tráfico y la percepción de los pasajeros o conductores. Se consideran algunos factores como la velocidad, tiempos recorridos, comodidad y seguridad vial.

A su vez, el nivel de servicio se clasifica en seis niveles. Estos se representan con algunas letras del abecedario que va desde la A hasta la F como se observa en la Figura 1-1, donde el nivel A es representado como un nivel de servicio alto con las mejores condiciones y el nivel F se traduce como el peor servicio (Mannering Fred, 2005).



**Figura 1-1 Nivel de Servicio de la Autopista [Fuente: Mannering Fred, 2005]**

**Nivel de servicio A**

Este nivel de servicio es considerado como el nivel más alto en condiciones estables. Es decir, la congestión es baja, se puede ir a velocidades altas, la infraestructura está en perfectas condiciones por lo que los conductores no están obligados a ir en velocidad constante.

**Nivel de servicio B**

En este nivel de servicio la circulación es constante ya que no se determinan cambios repentinos en la velocidad, aunque ya se empieza a tener mayor flujo vehicular, sin embargo, aún se puede realizar cambios y elegir el carril de circulación sin inconvenientes.

### **Nivel de servicio D**

Para el nivel de servicio D ya se empieza a considerar inestable es decir que existen cambios de velocidades bruscos, incluso los conductores ya se encuentran con maniobras restringida ya que se ven involucrados en un tráfico vehicular.

### **Nivel de servicio E**

En el nivel de servicio E la congestión vehicular se aproxima a la capacidad de la vía por eso la maniobra de los conductores es totalmente restringida por lo que la velocidad no puede sobrepasar los 50 km/h.

### **Nivel de servicio F**

Este nivel es considerado como el más bajo de la clasificación de los niveles de servicio ya que la circulación vehicular se da con velocidades muy bajas formándose largas colas que obligan al conductor a detenerse por un determinado tiempo. Se considera este nivel como la completa congestión de la vía que regularmente se da en horas pico (Montoya, 2005).

#### ***1.4.1.7 Estrategias de elección de ruta***

Existen algunas estrategias para elegir una ruta de transporte. Entre ellas los itinerarios y rutas mínimos que son consideradas para representar una red de transporte público que viajan desde un origen a un destino (Sebastian Raveau, 2016).

#### **Itinerarios mínimos**

Esta estrategia es considerada como la más sencilla dentro del análisis de una red de transporte público. Se tiene en cuenta una secuencia de líneas de transporte público y estaciones que permiten el transbordo para enlazar el recorrido desde el punto de origen hasta el destino. De esa forma, se elige el itinerario que posea el menor tiempo de viaje hasta el destino en su totalidad.

#### **Rutas mínimas**

Dentro de las estrategias para la elección de rutas tenemos las rutas mínimas que consisten en elegir un conjunto de líneas comunes entre cada par de estaciones para realizar un viaje con la finalidad de disminuir el tiempo de espera y a su vez disminuir el tiempo total de viaje desde el origen hasta el destino. Es

decir, la probabilidad de abordar una de las líneas será proporcional a su frecuencia siempre que pertenezcan al conjunto de líneas comunes.

La diferencia entre estas dos estrategias mencionadas es que en las rutas mínimas los usuarios tomarán la primera línea que arribe por cada par de estaciones sucesivas en vez de esperar por una única línea en particular.

#### **1.4.1.8 Algoritmo de la ruta más corta**

Se definirán dos algoritmos que resuelven redes cíclicas y redes acíclicas:

Algoritmo de Dijkstra: Consiste en determinar la ruta más corta entre el nodo de origen y cualesquiera nodos de la red.

#### **Algoritmo de Dijkstra**

Sea

$u_i$  la distancia más corta del nodo de origen 1 al nodo  $i$

$d_{ij} \geq 0$  longitud del arco  $ij$

Se define a la etiqueta para un nodo  $j$  como en la ecuación 1.1

$$[u_j, i] = [u_i + d_{ij}, i], \quad d_{ij} \geq 0 \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Estas etiquetas se conocen como temporales o permanentes. La etiqueta temporal es cuando tiene opción a modificarse si se encuentra una ruta más corta. En cambio, si no existe una ruta más corta la etiqueta se convierte en permanente. La ecuación 1.1 detalla como para cada búsqueda de una ruta el valor se va acumulando de la distancia.

Pasos para el algoritmo de Dijkstra

Paso 0

Se empieza a etiquetar el nodo de origen con una etiqueta permanente  $[0, -]$  estableciendo  $i = 1$ .

Paso general  $i$

- a. Se calculan las etiquetas temporales tal que  $[u_i + d_{ij}, i]$  para cada nodo  $j$  siempre que  $j$  no haya sido etiquetado como permanente. Si algún nodo ya está etiquetado como temporal siempre que  $u_i + d_{ij} < u_j$  se reemplaza.

- b. Cuando se tenga a todos los nodos etiquetados como permanentes, nos detenemos. Si no se da el caso se debe elegir la etiqueta que tenga la distancia más corta entre todas las temporales. Se repite el paso *i*.

#### 1.4.1.9 Matriz Origen Destino

Esta matriz es considerada como la mejor forma de identificar la demanda, siempre y cuando se zonifique y exista una periodicidad en el área estudiada.

Dentro de la matriz se identifican el número de viajes que realizan entre cada par de zonas. Además, se cumplen las siguientes relaciones:

$$O_i = \sum_j^n V_{ij} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

$$D_j = \sum_i^n V_{ij} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

$$\sum_i^n O_i = \sum_j^n D_j = V \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Tal que,

$V_{ij}$ : Cantidad de viajes del origen *i* al destino *j*

$O_i$ : Total de viajes que se dan desde el origen *i* definido en la ecuación 1.2

$D_j$ : Total de viajes con destino *j* definido en la ecuación 1.3

$V$ : Total de viajes realizados en el área estudiada durante un periodo, definido en la ecuación 1.4

		DESTINOS						$\Sigma$
		<b>1</b>	<b>2</b>	...	<b>j</b>	...	<b>n</b>	
ORIGENES	<b>1</b>	V11	V12	...	V1j	...	V1n	<b>O1</b>
	<b>2</b>	V21	V22	...	V2j	...	V2n	<b>O1</b>
	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮	⋮
	<b>i</b>	V <sub>i1</sub>	V <sub>i2</sub>	...	V <sub>ij</sub>	...	V <sub>in</sub>	<b>O<sub>i</sub></b>
	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮	⋮
	<b>n</b>	V <sub>n1</sub>	V <sub>n2</sub>	...	V <sub>nj</sub>	...	V <sub>nn</sub>	<b>O<sub>n</sub></b>
$\Sigma$		<b>D1</b>	<b>D2</b>	...	<b>Dj</b>	...	<b>Dn</b>	<b>V</b>

Figura 1-2 Matriz OD [Fuente: Elaboración Propia]

### 1.4.1.10 Modelos para la optimización de rutas

#### Problema del Agente Viajero

Conocido como TSP por sus siglas en inglés de *Traveling Salesman Problem*, es un problema que consiste en tener un conjunto de ciudades a las cuales un agente vendedor debe visitar con el menor recorrido o tiempo posible finalizando en la ciudad de la que partió.

La formulación matemática es define como:

$$z = \min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{i,j} x_{i,j} \quad \text{Ecuación 1.5}$$

st:

$$\sum_{j \in N, j \neq i} x_{i,j} = 1, \quad \forall i \in N \quad \text{Ecuación 1.6}$$

$$\sum_{i \in N, i \neq j} x_{i,j} = 1, \quad \forall j \in N \quad \text{Ecuación 1.7}$$

$$u_i - u_j + |N|x_{i,j} \leq |N| - 1, \quad \forall i, j \in N: i \neq j \quad \text{Ecuación 1.8}$$

$$1 \leq u_i \leq |N|, \quad \forall i \in N \quad \text{Ecuación 1.9}$$

$$x_{i,j} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \in N \quad \text{Ecuación 1.10}$$

La expresión (1.5) es la función objetivo la cual se va a minimizar. Aquí la variable  $z$  da como resultado el tiempo total empleado entre los segmentos donde la variable binaria  $x_{i,j}$  fue 1. Las restricciones (1.6) y (1.7) nos indican que para cada nodo  $0, 1, \dots, n$  debe salir únicamente un arco hacia otro nodo y que a cada nodo  $0, 1, \dots, n$  le debe llegar solo un arco de otro nodo. Las restricciones (1.8) y (1.9) eliminan los sub-ciclos que se pueden formar al crear la ruta, así mismo define un camino cerrado donde todos los nodos son considerados. La última restricción (1.10) define que los valores de  $x_{i,j}$  solo sean 1 y 0.



## **Problema del diseño de una red de tránsito**

Este problema determina el diseño de una red de tránsito de la manera más eficiente posible. Los modelos que son planteados con este enfoque siguen una serie de objetivos sujetos a restricciones que involucran la operatividad y los recursos que se disponen (Nayeem et al., 2019).

Para implementar los problemas de este tipo es necesario contar con información base como las estructuras definidas de la ruta, frecuencias, tipos de vehículos, locación de las paradas, tiempos en la actividad de movilizarse y demás parámetros que se requieran dependiendo de lo que se pretenda tomar como función objetivo y las suposiciones que se van a plantear (Iliopoulou et al., 2019).

### **1.4.1.11 Metaheurísticas**

Existen problemas matemáticos que tienen una alta complejidad y son casi imposibles de resolver con algoritmos de optimización comunes. Como bien indica el nombre, estos algoritmos buscan la solución óptima. Las metaheurísticas son algoritmos diseñados para no encontrar la solución óptima sino más bien una buena solución.

Las metaheurísticas se basan en una cierta cantidad de iteraciones que requieren hacer antes de emitir la solución final. Es posible que en esas iteraciones la calidad de la solución decaiga, pero es necesario para evitar caer atrapados en óptimos locales que no van a permitir la búsqueda de posibles mejores soluciones (Taha, 2011).

## **1.4.2 Estado del arte**

### **1.4.2.1 Optimización en línea circular de la ruta de un bus alimentador en un Distrito financiero de Dalian, China**

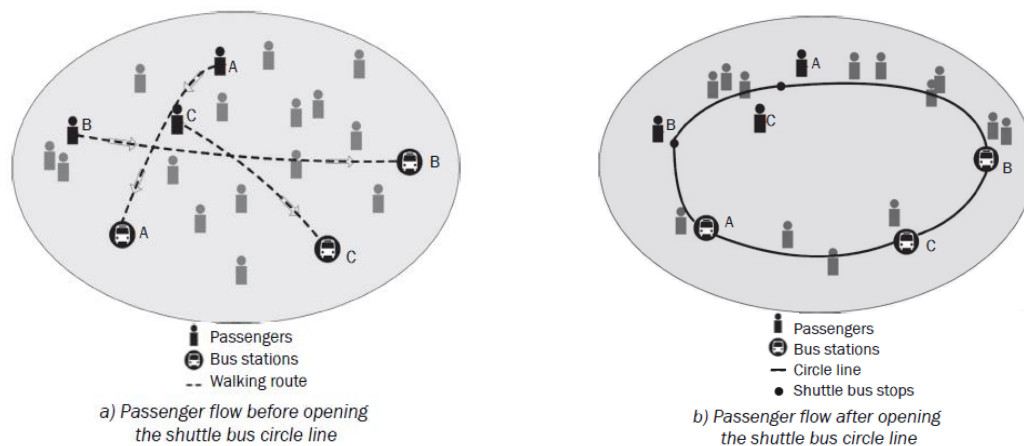
En un estudio realizado en Dalian, específicamente en un distrito financiero, con alto tráfico vehicular donde el desarrollo de la ciudad experimentó un gran progreso en las últimas décadas, se presenta una propuesta para aliviar el prominente conflicto entre la alta demanda de pasajeros y la deficiente oferta de servicios de transporte público en esta zona.

Yao et al. (2017) diseña un modelo para crear la ruta de un bus alimentador que sirva como un terminal de buses dinámico basado en la optimización de rutas en línea circular que tiene como objetivos minimizar el costo de viaje por pasajero y minimizar el costo de operación del operador.

El modelo define que cada posible parada debe estar cerca de un punto muy concurrido de personas en el distrito. Luego las paradas apropiadas que formen una línea circular serán seleccionadas. El costo de viaje por pasajero involucra el costo por caminata desde el punto de partida del usuario hasta la parada, el tiempo de espera en la parada, el costo del tiempo en el bus y el costo por caminata desde la parada hasta su destino. Por otro lado, los costos de operación resultan del costo de depreciación y mantenimiento de las paradas, costo del consumo de combustible y costos asignados derivados de plantear la ruta en línea circular. Para optimizar la ruta circular se utilizó una heurística del algoritmo genético de acuerdo con buenos resultados obtenidos en varios estudios realizados.

Los resultados de la experimentación en una zona de investigación de 5 kilómetros cuadrados de la estación de ferrocarril en Dalian mostraron que el modelo tiene fiabilidad y validación las cuales permiten a los operadores a tomar decisiones para aliviar la carga vehicular en el distrito.

La ventaja particular del artículo que aborda la planificación de ruta con un diseño en línea circular es que acorta en gran medida la distancia de caminata de su punto de partida a las paradas incrementando la conveniencia de los pasajeros.



**Figura 1-3 Flujo vehicular sin línea circular y con línea circular [Fuente: Yao et al., 2017]**

### 1.4.2.2 Optimización de un modelo de ruta de bus alimentador con estaciones de transferencias

Cao et al. (2022) señala la competitividad de los buses convencionales con respecto a los subterráneos. A pesar de sus ventajas de gran capacidad de pasajeros, recorrer largas distancias y altas velocidades, los buses mantienen una fuerte presencia en los sistemas de transporte más utilizados por su bajo costo, accesibilidad y amplio alcance.

La investigación plantea una integración entre los dos sistemas mejorando la cooperatividad sacando provecho un servicio de otro. Para ello se diseña una red conectando las paradas de buses con las estaciones de los subterráneos.

Para un mejor desarrollo del estudio, el modelo asume que cada parada va a ser atendida por solo un bus, que cada bus alimentador va a atender solo a una estación del subterráneo, velocidad de bus y subterráneo conocidas e intervalos de salida entre 6 y 7 minutos. Basado en un VRP, el objetivo es minimizar los costos operacionales de los buses y el costo de viaje de los usuarios.

Los autores presentan una serie de parámetros necesarios para evaluar su modelo que se pueden utilizar de referencia para el desarrollo de este proyecto como el tiempo entre paradas, distancia entre paradas, número máximo de paradas, flujo de personas entre paradas, capacidad de las paradas, capacidad máxima de pasajeros en la ruta y el tiempo de caminata entre el punto de partida y destino de los pasajeros.

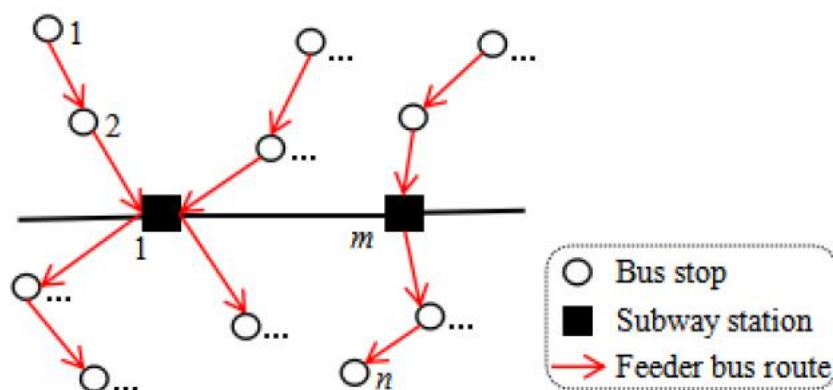


Figura 1-4 Modelo de ruta de bus alimentador [Fuente: Cao et al., 2022]

### **1.4.2.3 Diseño de una red de tránsito a través de la metaheurística de la Colonia de Abejas**

La creación de una red adecuada de transporte puede incrementar el número de personas que deseen hacer uso del servicio de movilidad. Una red deficiente no solo resulta en pérdidas económicas para los operadores, niveles muy altos de congestión y contaminación también son problemas muy serios para las ciudades.

Nikolić & Teodorović (2013) en su investigación dividen el proceso de establecer una red en dos etapas: la primera en la generación del conjunto de rutas de tránsito y la segunda en la determinación de la frecuencia de servicio para cada ruta generada.

Para resolver el problema del diseño de la ruta, considerado NP-HARD, se presenta un modelo que se basa en la Optimización de la Colonia de Abejas. El algoritmo hace un símil del comportamiento de las abejas en la naturaleza. Dado un número de abejas artificiales, cada una va generando una solución para el problema. Luego hay un intercambio de información entre ellas para obtener mejores soluciones descartando información que no aporta a esta búsqueda. En la primera fase del algoritmo las abejas artificiales construyen mejores soluciones por medio de pequeños movimientos a partir de una solución inicial. En la segunda cada abeja comparte información de la solución que generó, es decir, la calidad de esta.

Los resultados de aplicar este enfoque al problema en estudio muestran que es un algoritmo muy competente, cumpliendo las tareas de maximizar el número de pasajeros servidos, minimizar el tiempo total en el vehículo de todos los pasajeros servidos y minimizar el número total de transferencias que se hacen en la red.

El estudio desarrolla buenas soluciones en base a una metaheurística que va mejorando las soluciones obtenidas. Esto evidencia que es importante definir las partes de construcción y mejora de las soluciones en el algoritmo para obtener una ruta eficiente.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Introducción

En la sección de la metodología de estudio se explicará las actividades que se realizaron para cumplir con los objetivos planteados en el proyecto para el diseño de una ruta que cumpla con las necesidades de los usuarios a través de un riguroso estudio.

### 2.2 Flujograma de actividades

La metodología para poner en práctica en este capítulo se muestra en la **Figura 2-1** detallando los pasos a seguir para cumplir con los objetivos planteados.

Primero, se identificó la zona de estudio, es decir, la zona donde se desarrolló el análisis para el diseño de la ruta.

El segundo paso consistió en el estudio del suelo de la zona de estudio. Esto para reconocer las actividades que se realizan en la delimitación.

Luego se determinaron las paradas con trasbordos dirigidos hacia otras troncales.

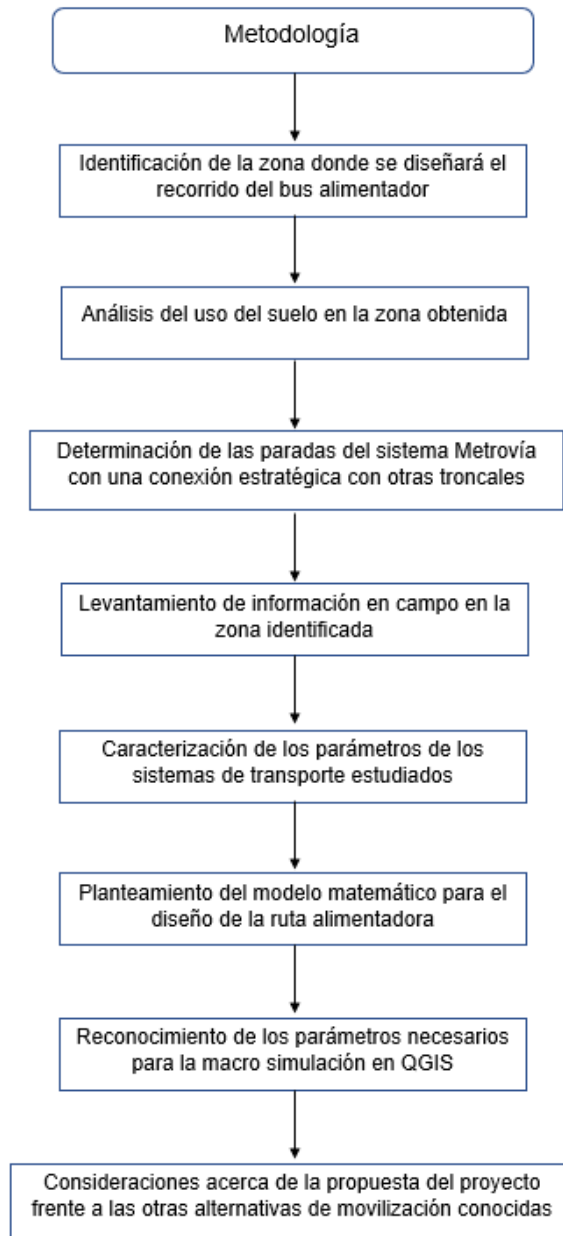
El siguiente paso fue proceder con el levantamiento de información campo y realizar las respectivas validaciones en campo.

Después de obtener los datos de los sistemas de transporte estudiados, se procedió a caracterizar sus parámetros como frecuencia, tiempo de viaje, etc.

Posteriormente se planteó el modelo matemático para la obtención de la ruta alimentadora considerando las calles con menor congestión vehicular.

Se obtuvieron los parámetros de la ruta y su recorrido para simularla en el software QGIS.

Por último, se plantearon las consideraciones legales y éticas ligada al estudio de los sistemas de transporte estudiados.



**Figura 2-1 Flujograma de actividades [Fuente: Elaboración propia]**

## **2.3 Levantamiento de información**

### **2.3.1 Zona de estudio**

La zona de estudio del proyecto se delimitó con base en diversos factores:

- Cercanía con las estaciones de la Aerovía: los buses alimentadores funcionan sustentando, por medio de recorridos cortos, al sistema de

transporte que sirven reduciendo la brecha en los sectores donde no existe la accesibilidad inmediata (Zheng et al., 2020).

- Reuniones con los administradores del consorcio: las personas encargadas de dirigir Aerovía mostraban un interés en llevar a cabo el diseño de la ruta en la zona centro de la ciudad.
- Elevado flujo de personas: gracias a la gran cantidad de locales comerciales, en la zona centro, hay una alta densidad de personas que diariamente necesitan realizar alguna transacción en el centro. Además de ser un sector muy popular de la ciudad para la actividad comercial, también se ubican iglesias, hospitales, unidades educativas, zonas residenciales, etc., demostrando que es una zona estratégica para el análisis.



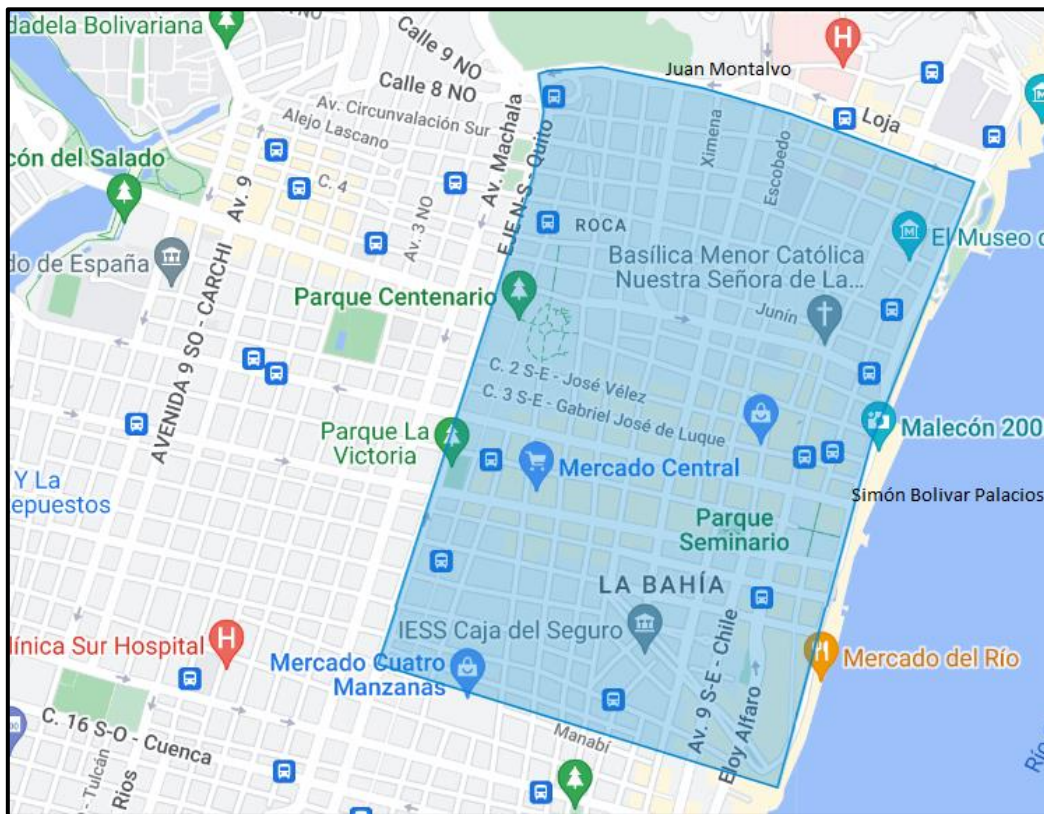
**Figura 2-2 Uso suelo de la zona de estudio [Fuente: Geoportal del GAD Municipal de Guayaquil]**

Leyenda	
<span style="color: red;">■</span>	Uso comercial o de servicios
<span style="color: blue;">■</span>	Uso mixto
<span style="color: yellow;">■</span>	Uso residencial densidad media

**Tabla 2-1 Tipo de uso suelo [Fuente: Elaboración propia]**

Con el fin de hacer un estudio comprensivo de la zona, se la particionó en dos siendo la Avenida Quito la calle que divide las subzonas:

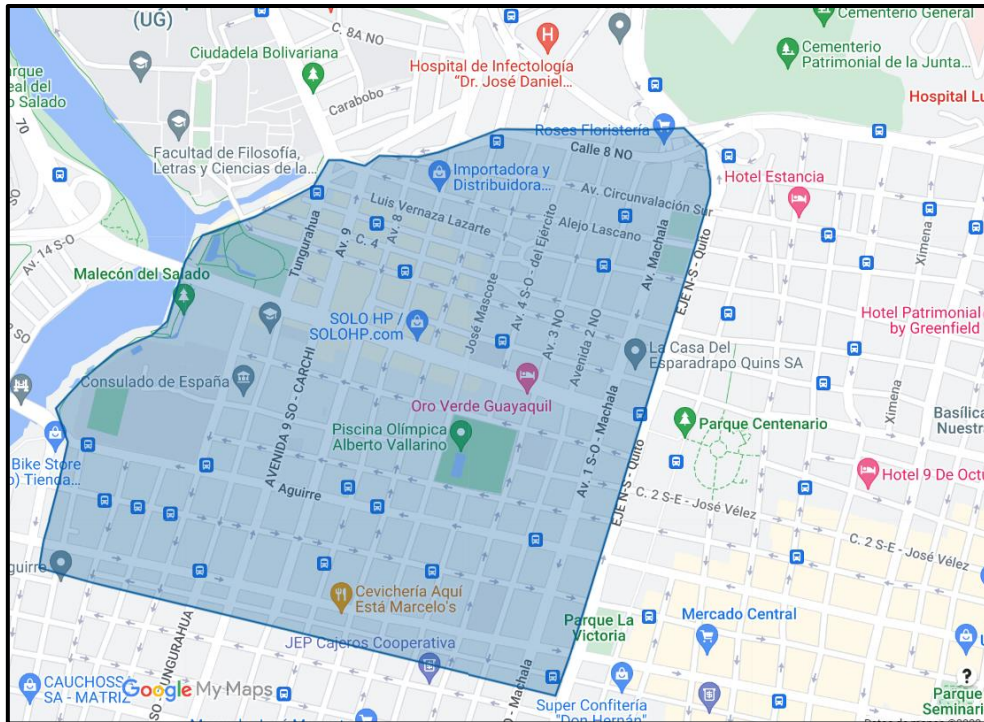
**Subzona Este: Avenida Quito – Calle Manabí – Calle Simón Bolívar Palacios – Juan Montalvo – Avenida Quito**



**Figura 2-3 Subzona Este [Fuente: Elaboración propia]**

**Subzona Oeste: Avenida Quito – Calle Piedrahita – Calle Tungurahua – Lizardo García – Calle José de Sucre – Avenida Quito**





**Figura 2-4 Subzona Oeste [Fuente: Elaboración propia]**

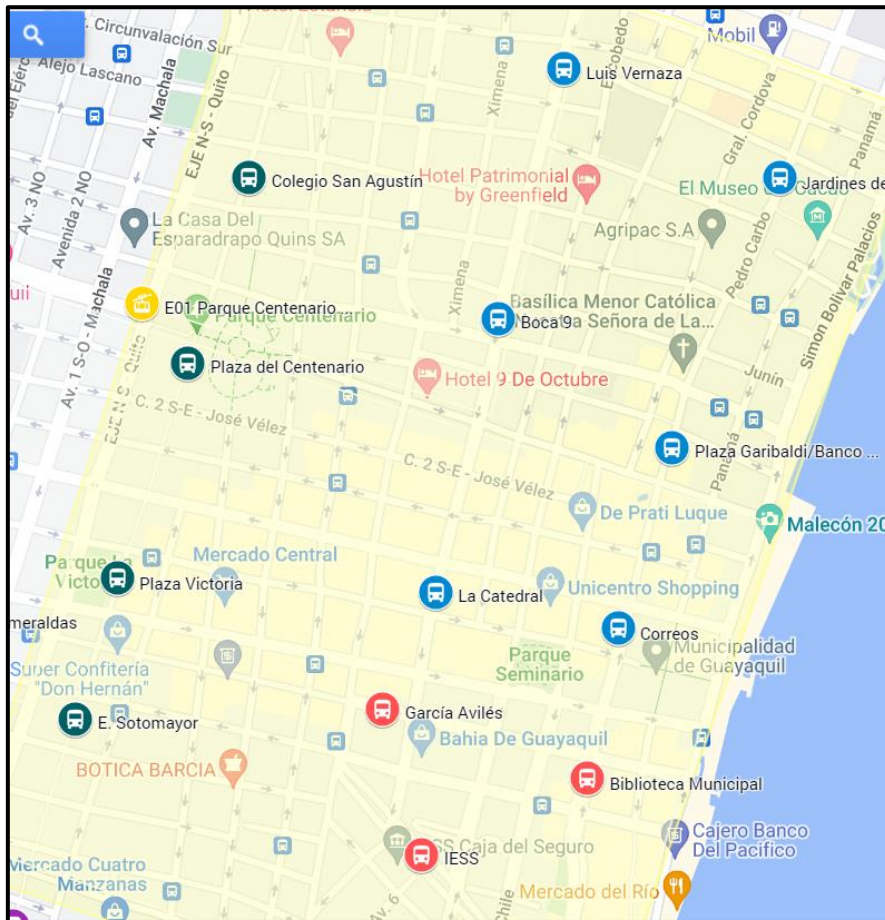
En la investigación de las subzonas presentadas se analizó los niveles de congestión, la existencia de otros sistemas de transporte y los antecedentes de implementaciones anteriores de un bus alimentador.

### **2.3.1.1 Subzona Este**

#### **Numerosa cantidad de paraderos de Metrovía**

En esta zona están habilitadas 13 paradas del sistema de transporte Metrovía que sirve principalmente a la Troncal 1 Guasmo – Río Daule. Sin embargo, también sirven a 4 paradas de la Troncal 2, 25 de Julio – Río Daule (E. Sotomayor, Plaza Victoria, Plaza del Centenario y Colegio San Agustín) y 3 paradas de la troncal 3 Bastión Popular – Centro (IESS, Biblioteca Municipal y García Avilés). En la Figura 2-5 se muestran las 4 paradas de la troncal 2 en color verde, las 3 paradas de la troncal 3 en naranja que se integran a las 6 paradas de color celeste para ser partes de la troncal 1.

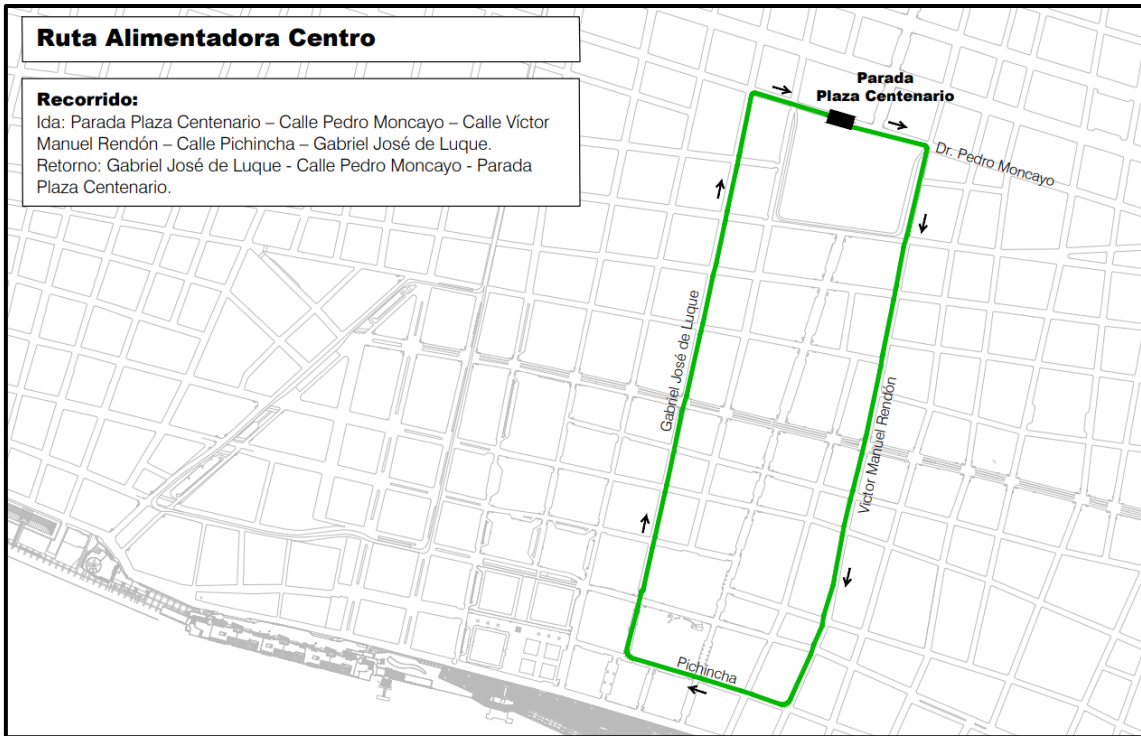
Se identifico que existe una buena presencia de sistema Metrovía en el sector.



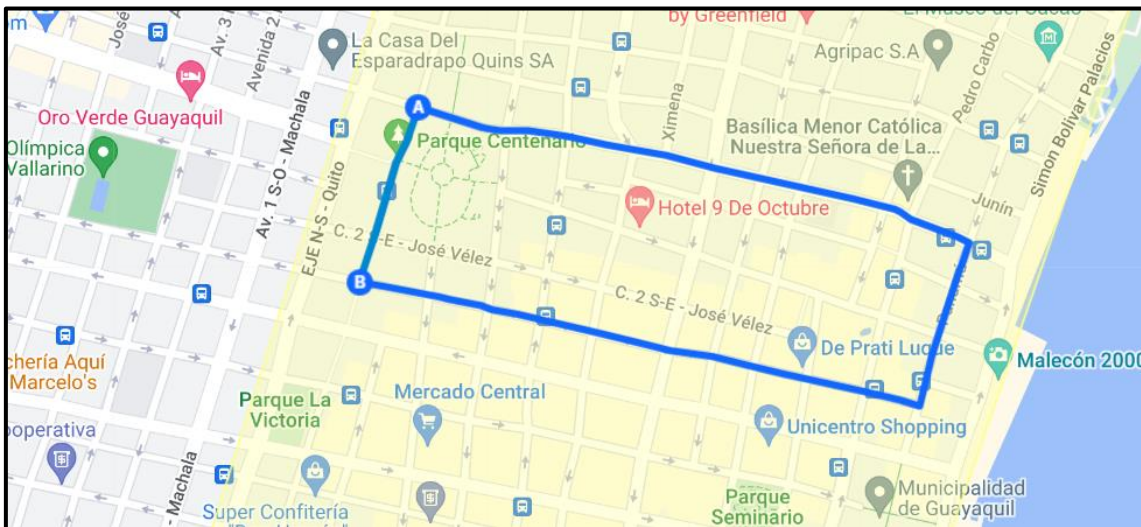
**Figura 2-5 Paraderos de Metrovía [Fuente: Elaboración propia]**

### **Ruta Alimentadora Centro – Metrovía**

Como parte de las validaciones se confirmó la existencia de la ruta alimentadora Centro la cual hace trasbordo en la parada Plaza Centenario y gana terreno en Rocafuerte estratégicamente para atraer demanda a la troncal 2 a través la parada. Las Figuras 2-6 y 2-7 muestran la ruta desde diferentes puntos de vista.



**Figura 2-6 Ruta alimentadora Centro [Fuente: Metrovía]**



**Figura 2-7 Ruta Alimentadora Centro [Fuente: Elaboración propia]**

**Ruta Bahía – Las Peñas – Aerovía**

Un antecedente importante en esta subzona es una implementación pasada de una ruta alimentadora indicada en la **Figura 2-8** que servía a Aerovía e integraba con Metrovía en la parada IESS que no alcanzó los niveles de demanda esperada. Gracias a este suceso se generó incertidumbre acerca de la efectividad de las calles involucradas (Av. Simón Bolívar, Gral. Cornelio Escipión,

Calle Córdova, Calle Roca, Calle Boyacá, Av. Olmedo) para futuros diseños de rutas.

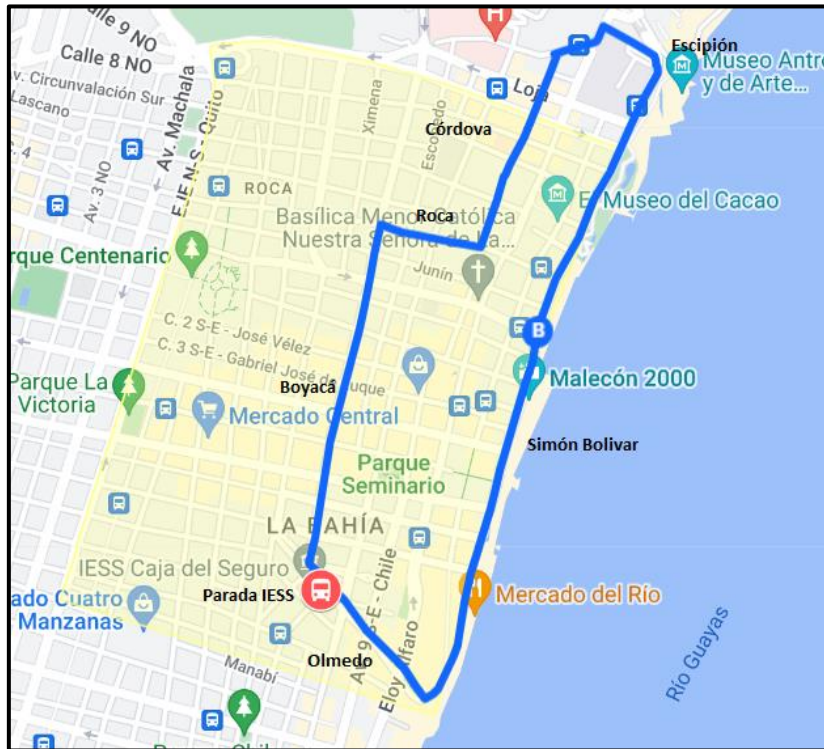


Figura 2-8 Ruta alimentadora Bahía – Las Peñas [Fuente: Elaboración propia]

### Congestión vehicular

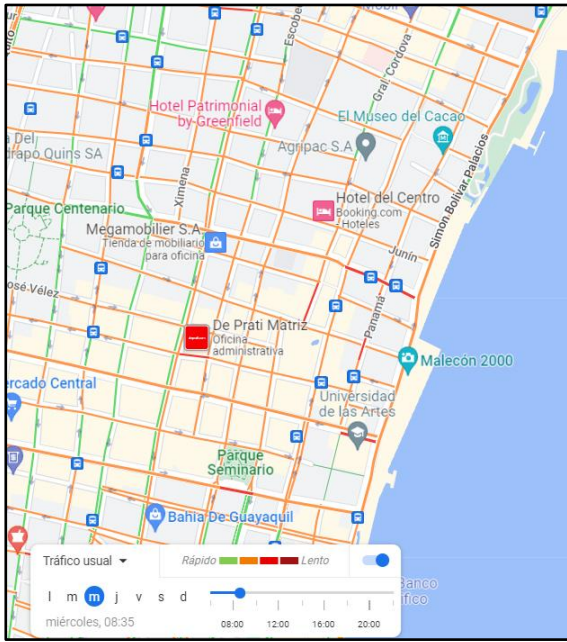
Se analizaron los niveles de congestión en la subzona estudiada en 3 horarios: 08:35, 12:15 y 18:10 en los 5 días de la semana. La **Figura 2-9** muestra los niveles de congestión que tuvo la zona estudiada en las franjas horarias señaladas el miércoles.

El nivel de congestión estuvo dado por el color de las calles, a los cuales se le asigna un nivel de movilidad. El color es designado en la **Tabla 2-2**.

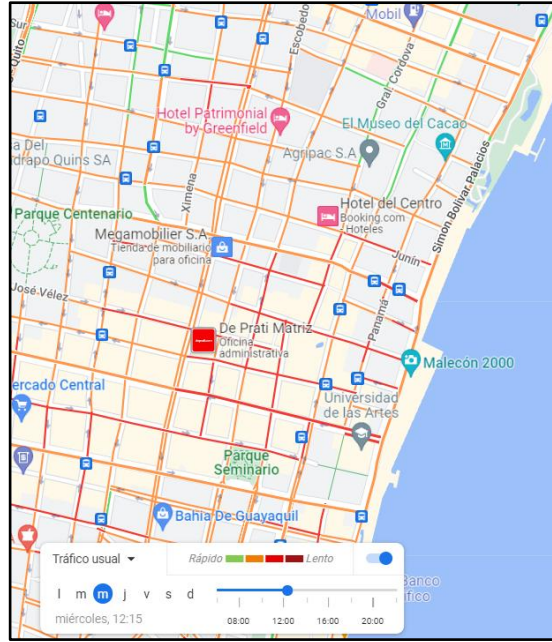
Color de calle	Tráfico
	Rápido
	Lento

Tabla 2-2 Escala de color del tráfico [Fuente: Elaboración propia]

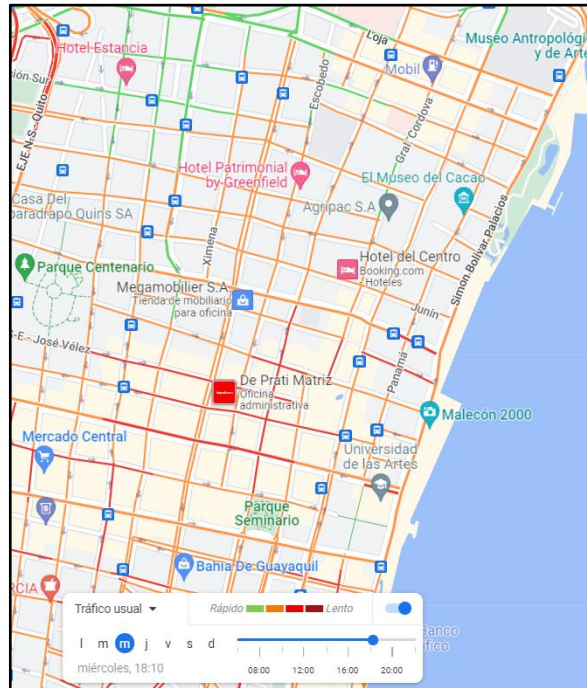
# MIÉRCOLES



8:35



12:15



18:10

Figura 2-9 Nivel de tráfico vehicular de la subzona Este [Fuente: Elaboración propia]

En los periodos donde se registra más congestión vehicular son a las 12:15 y 18:10. Pocas son las calles donde se puede transitar fluidamente. En promedio se identificó calles que permitirían un traslado rápido en la zona estudiada con poco o mediano nivel de tráfico:

- Riobamba
- Luis Urdaneta
- Manuel Galecio Ligerio
- 10 de Agosto
- Junín
- Pedro Moncayo

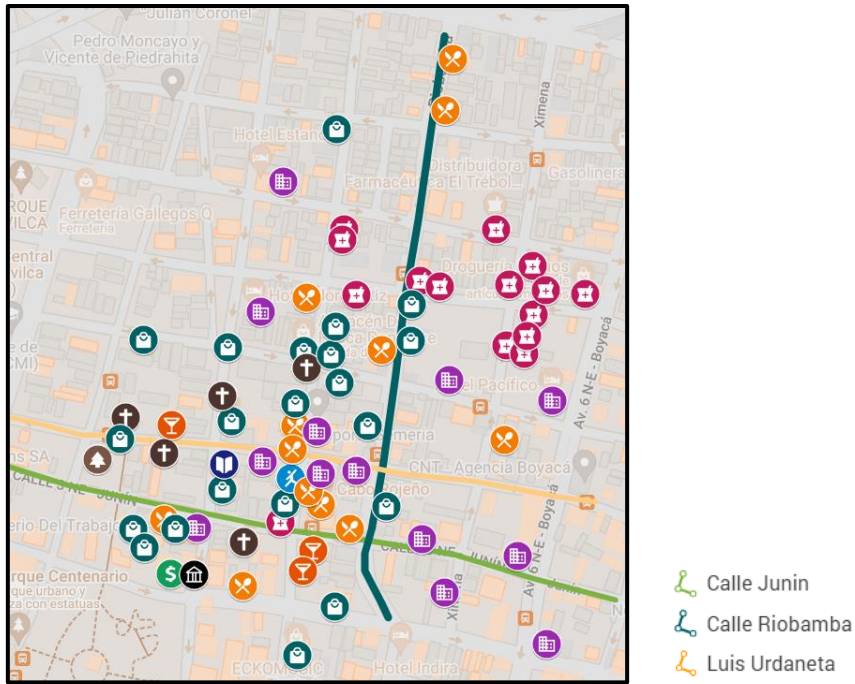
Entre las calles más congestionadas de acuerdo con las observaciones presentadas se encuentran:

- Víctor Manuel Rendón
- José Vélez
- Simón Bolívar
- Gabriel José de Luque
- Avenida Quito
- Cristóbal Colón
- Clemente Ballén
- 9 de Octubre

### **Puntos estratégicos**

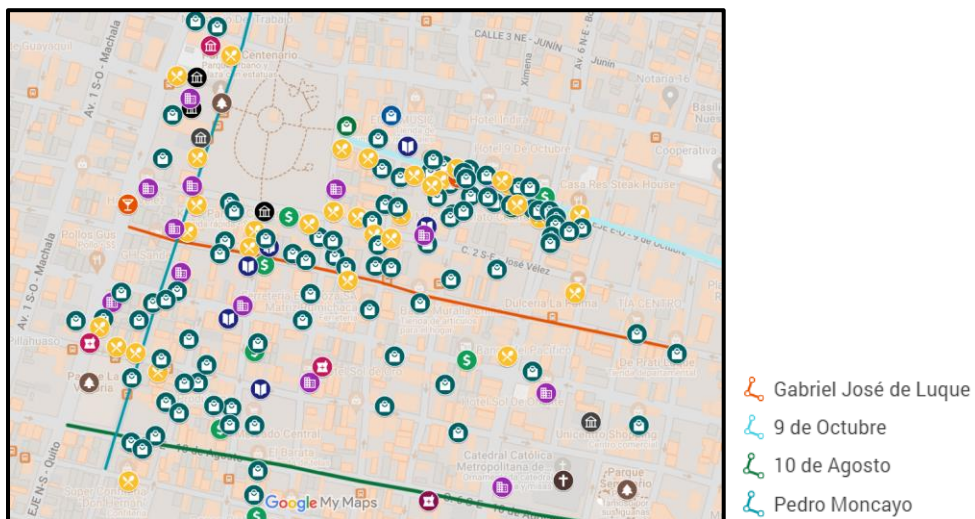
Se procedió a analizar las distintas actividades que se llevan a cabo en los sectores donde se identificaron las calles principales, dándole un mayor grado de consideración e importancia a las que tienen menos congestión vehicular y mayor accesibilidad.

En la **Figura 2-10** se reconocen puntos estratégicos cerca de las calles Riobamba y Junín cuyos motivos esenciales de viaje pueden deberse a actividades de trabajo, comercio, turismo, realización de trámites, estudios y atención médica.



**Figura 2-10 Puntos estrategicos alrededor de la calle Junín, Luis Urdaneta y Riobamba [Fuente: Elaboración propia]**

En la **Figura 2-11** se señala los puntos que atraen a las personas. Se los identificó en la cercanía de las calles Gabriel José de Luque, 9 de Octubre, 10 de Agosto y Pedro Moncayo.

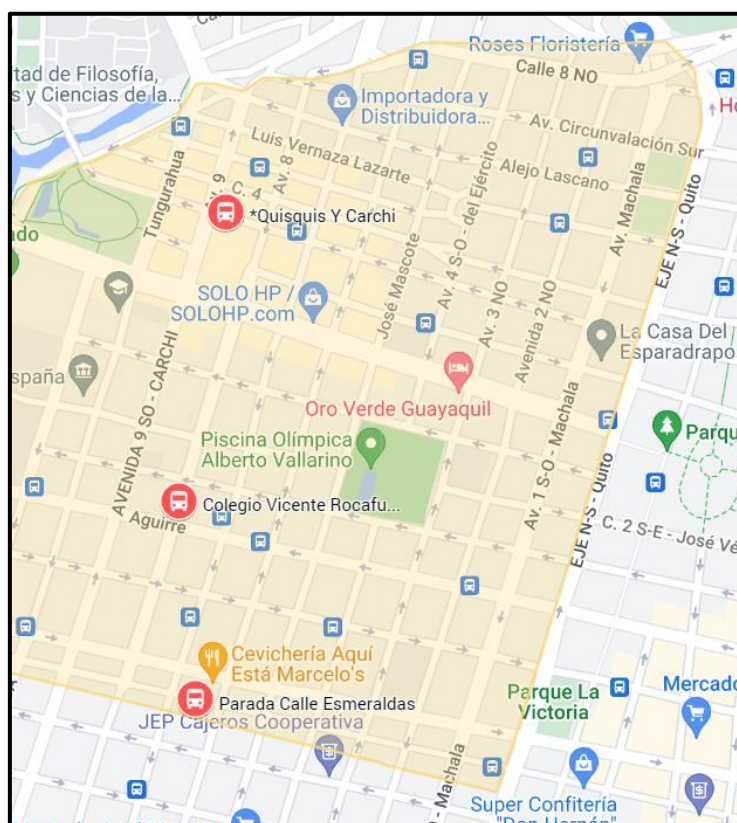


**Figura 2-11 Puntos estrategicos alrededor de la calle Gabriel José de Luque, 9 de Octubre, 10 de Agosto y Pedro Moncayo [Fuente: Elaboración propia]**

### 2.3.1.2 Subzona Oeste

#### Paraderos de Metrovía

Se identifica y valida los paraderos en correcto funcionamiento de la subzona de estudio de los cuales 3 paradas se encuentran habilitadas perteneciendo a la Troncal 3 Bastión Popular – Centro (Universidad Guayaquil, Colegio Vicente Rocafuerte, Calle Esmeraldas). En la **Figura 2-12** se señalan las ubicaciones de las paradas de Metrovía.



**Figura 2-12 Paraderos de la Metrovía [Fuente: Elaboración propia]**

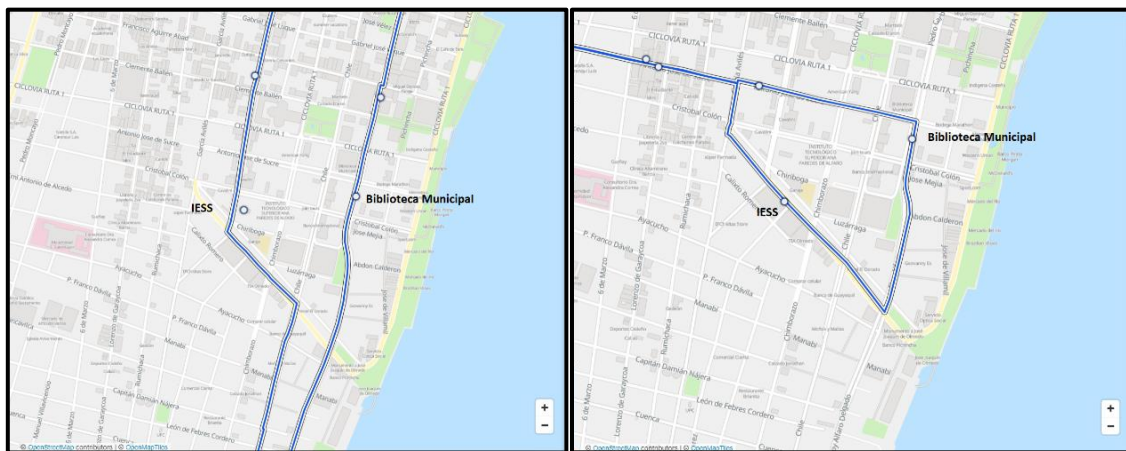
#### Integración de Troncales

Para la Troncal 3 correspondiente a Bastión Popular - Centro se validó una particularidad y es que cuenta con dos paradas de integración (parada IESS, parada Biblioteca Municipal).

La parada del IESS cuenta con una integración entre la Troncal 1 y Troncal 3 de Norte a Sur es decir que va desde la Terminal Rio Daule hasta la Terminal Guasmo teniendo una integración con la Troncal de Bastión Popular.

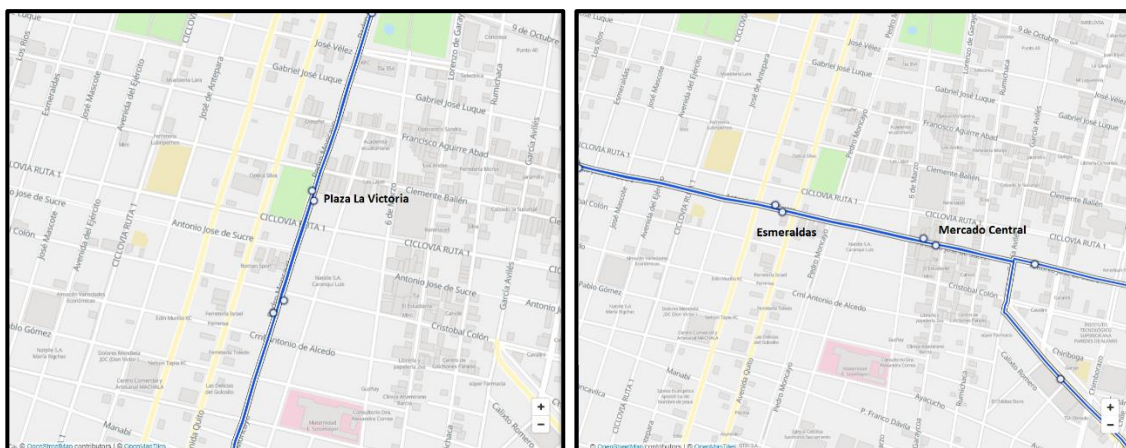


Mientras que la parada de la Biblioteca Municipal se integra las mismas troncales, pero en sentido Sur a Norte, es decir que va desde la Terminal Guasmo hacia la Terminal Rio Daule identificándolo en la **Figura 2-13**.



**Figura 2-13 Paraderos de Integración entre la Troncal 1 – 3 [Fuente: Moovit]**

Adicional, se validaron dos paraderos de la Metrovía (parada Plaza La Victoria, parada Mercado Central) con posible integración entre la Troncal 3 y Troncal 2. En este caso se observa una intersección entre ambas troncales. Sin embargo, no existe una integración física entre ellas como se muestra en la **Figura 2-14**.



**Figura 2-14 Paraderos sin Integración entre la Troncal 3 y 2 [Fuente: Moovit]**

### **Congestión vehicular**

Se procedió al análisis de un promedio de la congestión vehicular tomando como referencia tres zonas horarias, en este caso se analizó a las 8:35 – 12:15 – 18:10 de los cinco días de la semana laborables, ya que influye la cantidad de usuarios

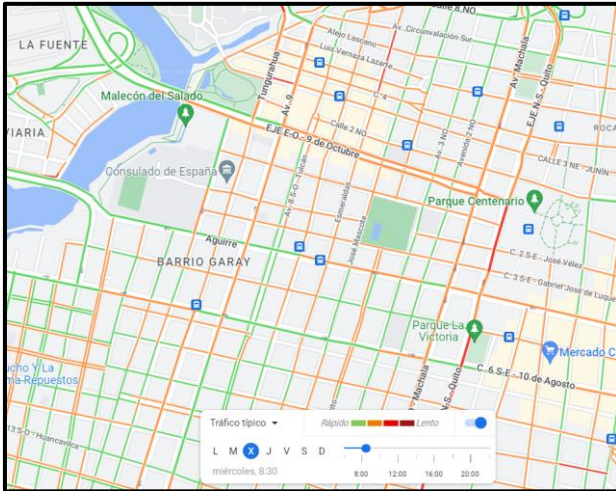
que se movilizan por la zona de estudio además se pretendía validar las horas pico correspondiente al área analizada. La **Figura 2-15** expone un ejemplo del análisis.

De la misma manera que la subzona Este, se consideró los colores de las calles designados en la **Tabla 2-3** como indicador del congestionamiento.

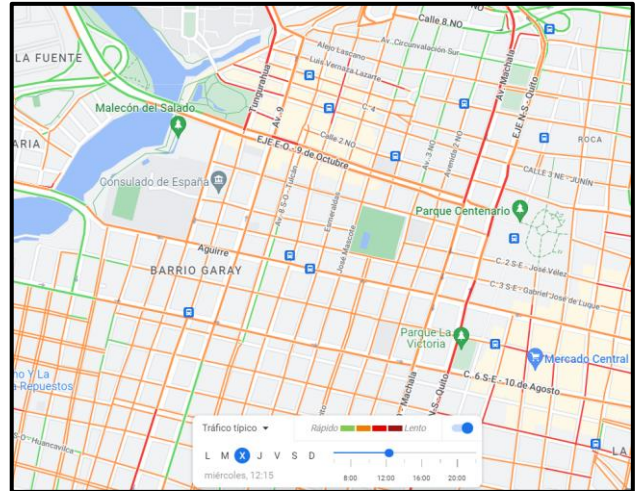
Color de calle	Tráfico
Verde	Rápido
Naranja	
Rojo	
Marrón	Lento

**Tabla 2-3** Escala de colores [Fuente: Elaboración propia]

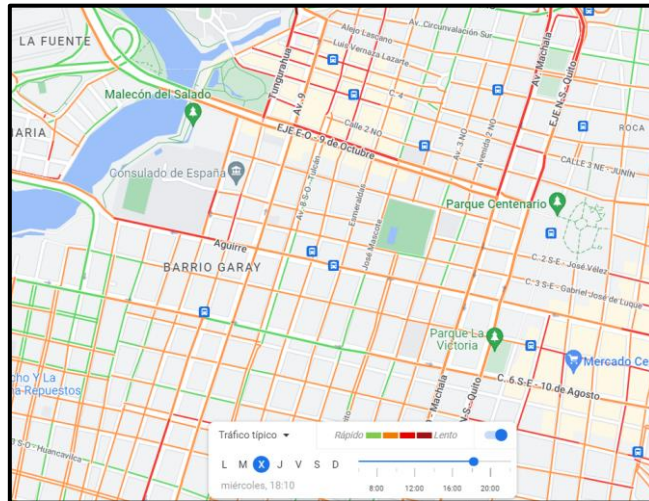
## MIÉRCOLES



8:35



12:15



18:10

**Figura 2-15 Nivel de tráfico vehicular de la subzona Oeste [Fuente: Elaboración propia]**

Durante los 5 días de analizar la congestión en la subzona podemos identificar ciertas calles con poco o medio nivel de tráfico vehicular, es decir, un acceso rápido a la movilidad:

- Tulcán
- José Mascote
- Avenida del Ejercito
- José de Antepara
- José de Sucre

- José de Luque
- Av. Circunvalación Sur

Además, se identificó las calles con lento (rojo) nivel de tráfico que se presentan a continuación:

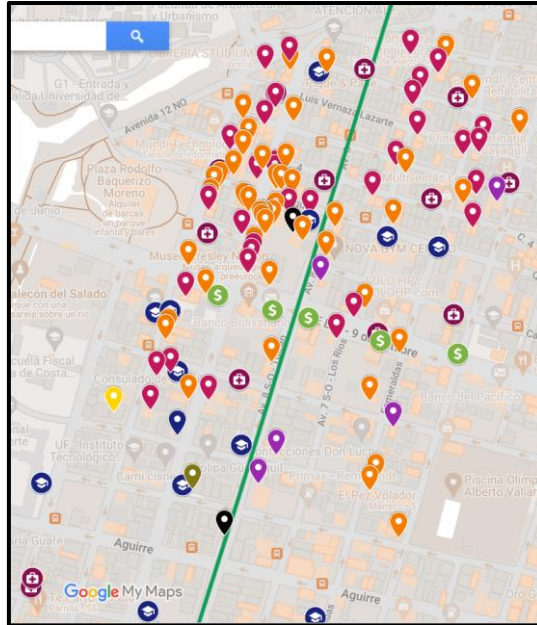
- Avenida Quito
- Avenida Machala
- Esmeraldas
- Tungurahua
- Aguirre
- 9 de Octubre
- Carchi
- 10 de Agosto

### **Puntos estratégicos**

A través del análisis de los niveles de congestión vehicular, se analizó las calles con menor nivel de tráfico vehicular por sector para identificar los puntos estratégicos alrededor de la calle seleccionada.

#### **Calle Tulcán**

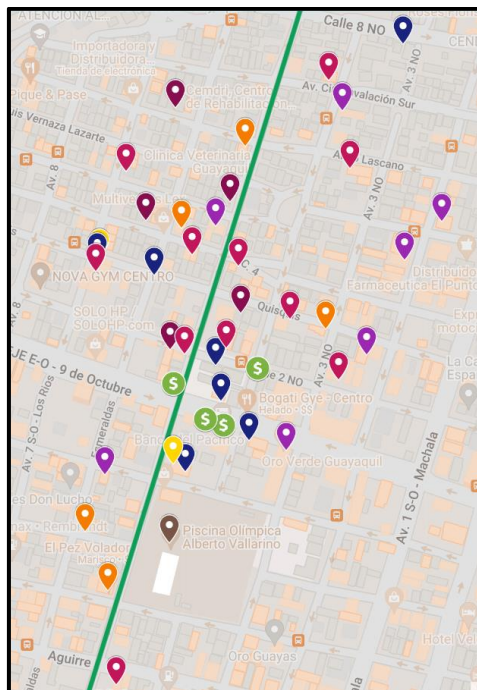
Alrededor de la calle Tulcán se encontraron gran variedad de puntos estratégicos como lo detalla la **Figura 2-16**.



**Figura 2-16 Puntos estratégicos alrededor de la calle Tulcán [Fuente: Elaboración propia]**

### **Calle José Mascote**

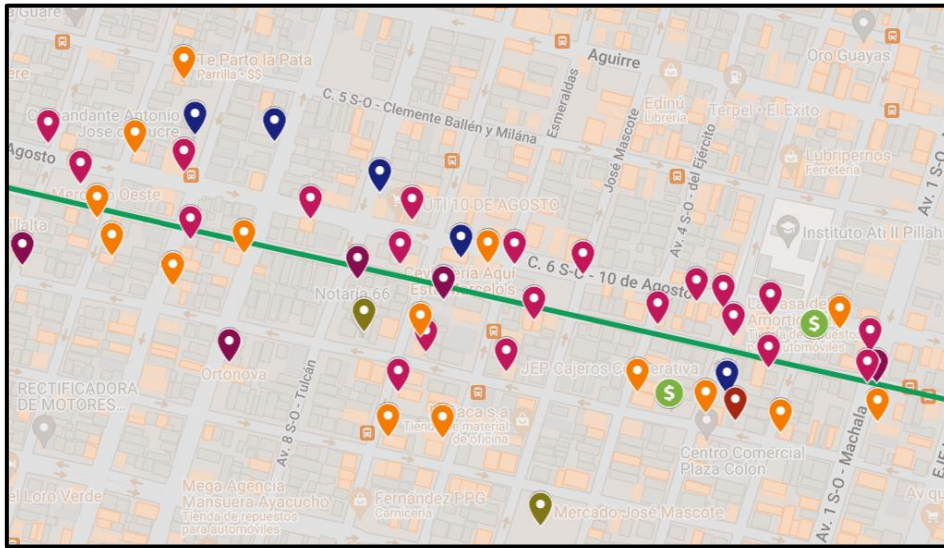
En la **Figura 2-17** se encontraron en su mayoría farmacias y librerías, aunque también bancos importantes cercana a la calle.



**Figura 2-17 Puntos estratégicos alrededor de la calle José Mascote [Fuente: Elaboración propia]**

## Calle Antonio José de Sucre

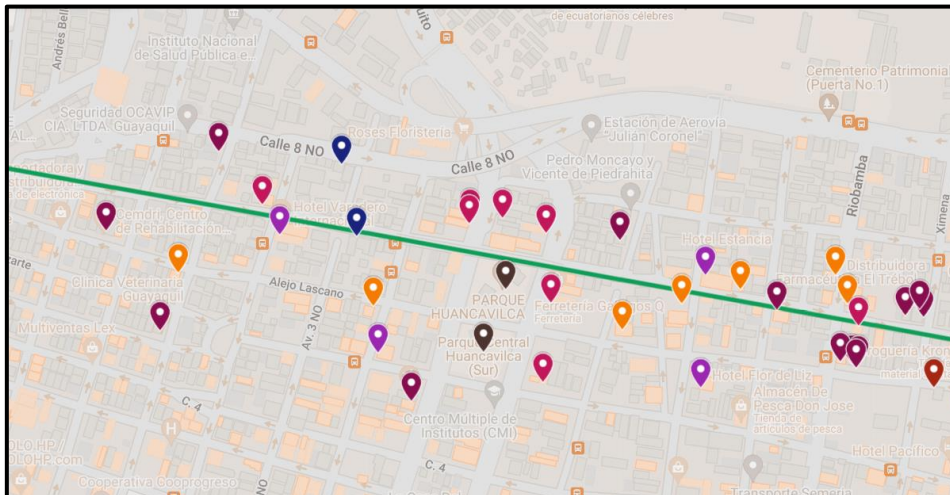
En su mayoría los locales son en gran cantidad de restaurantes como se denotan en la **Figura 2-18** alrededor de la calle José de Sucre.



**Figura 2-18** Puntos estratégicos alrededor de la calle José de Sucre [Fuente: Elaboración propia]

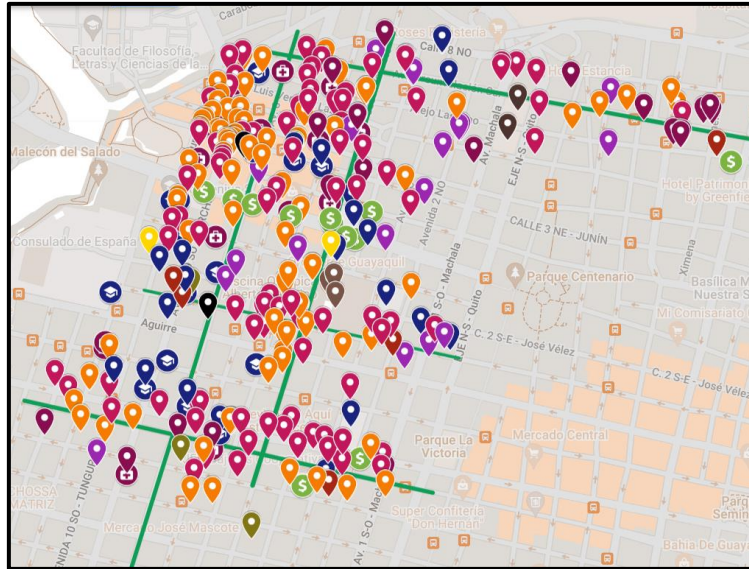
## Av. Circunvalación Sur

Alrededor de esta calle, hasta llegar a Riobamba se muestra en la **Figura 2-19** en su mayoría una gran cantidad de farmacias y locales de productos naturales.



**Figura 2-19** Puntos estratégicos alrededor de la Av. Circunvalación Sur [Fuente: Elaboración propia]

Conexión entre las calles con menor nivel de tráfico vehicular para observar el comportamiento de los puntos estratégicos alrededor las calles conectadas. En la **Figura 2-20** se muestran en conjunto los puntos estratégicos en las calles Tulcán, Circunvalación Sur, José de Sucre y José Mascote.



**Figura 2-20 Puntos estratégicos alrededor de las calles con menor nivel de tráfico vehicular [Fuente: Elaboración propia]**

### 2.3.2 Análisis de los sectores con destino más frecuentados por usuarios de Aerovía

Según un estudio que pretendía caracterizar la demanda de Aerovía a través de una encuesta de preferencias declaradas (Maji & Alban, 2021) que se realizó a 384 usuarios y determinaron los 5 sectores destino de viajes más frecuentados:

Destino de viaje	Porcentaje
1. Rocafuerte	28.87%

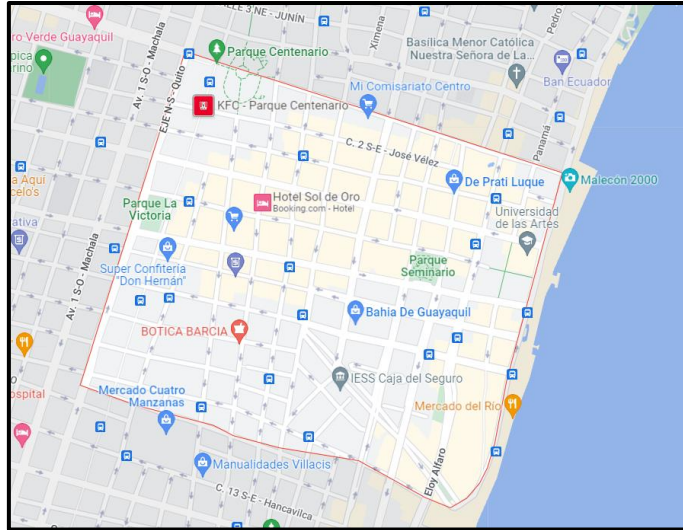


Figura 2-21 Sector Rocafuerte [Fuente: Google Maps]

Destino de viaje	Porcentaje
2. Roca	28.35%

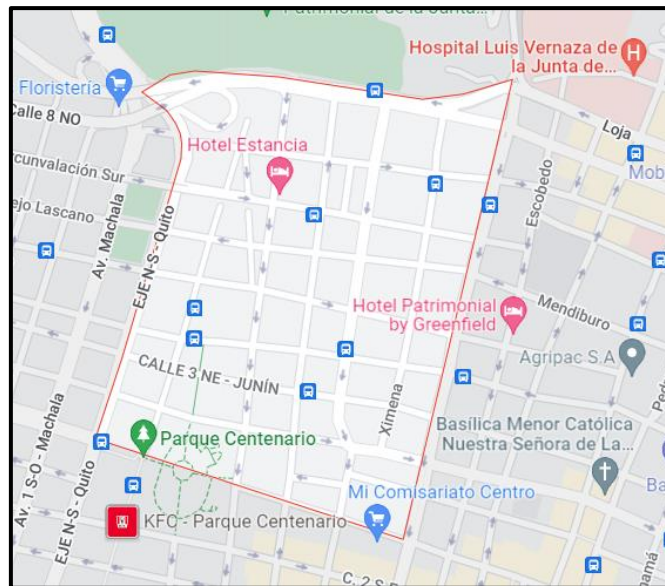


Figura 2-22 Sector Roca [Fuente: Google Maps]

Destino de viaje	Porcentaje
3. Centenario	15.98%



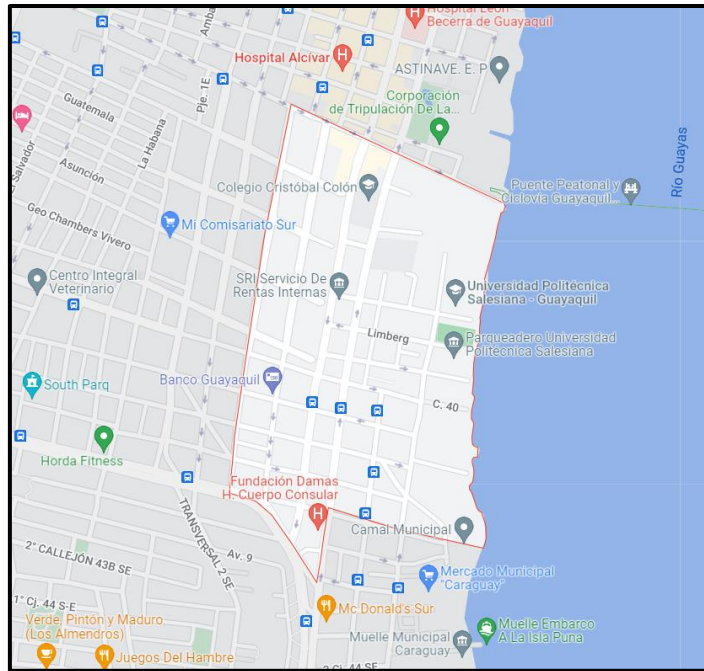


Figura 2-23 Sector Centenario [Fuente: Google Maps]

Destino de viaje	Porcentaje
4. Bahía	15.46%

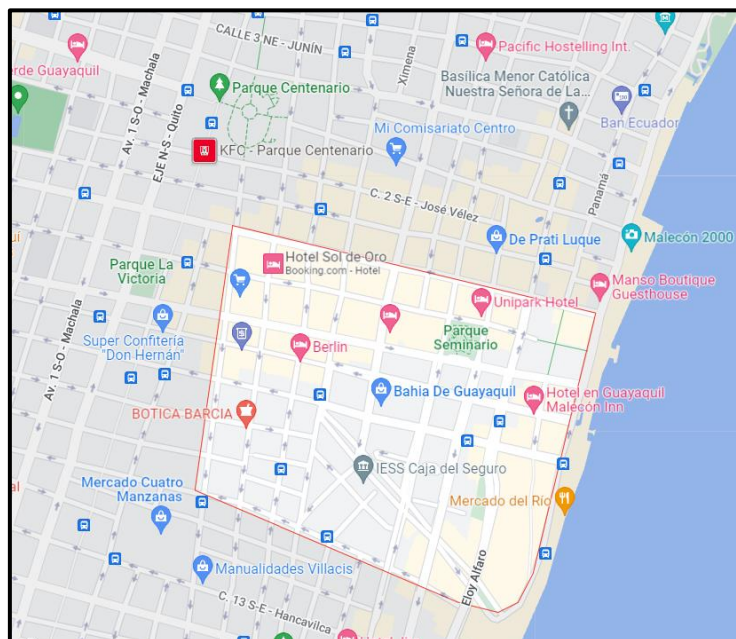


Figura 2-24 Sector Bahía [Google Maps]

Destino de viaje	Porcentaje
------------------	------------

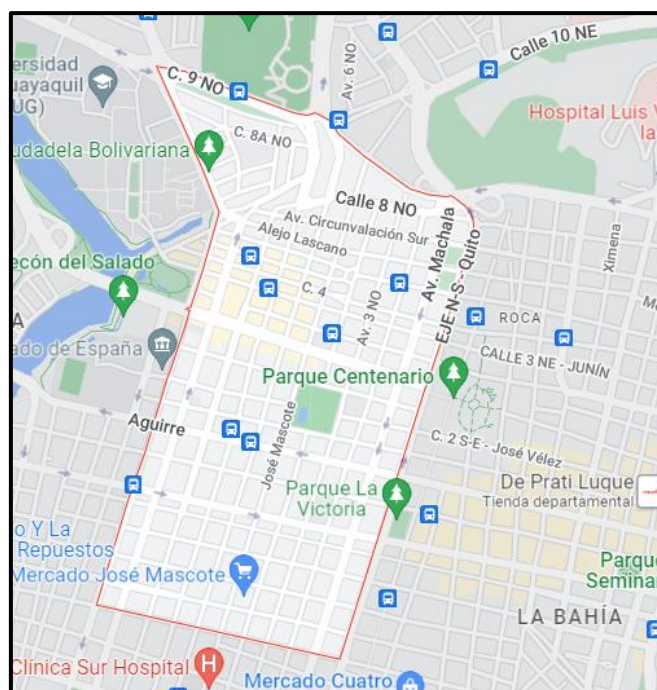


Figura 2-25 Sector 9 de Octubre [Fuente: Google Maps]

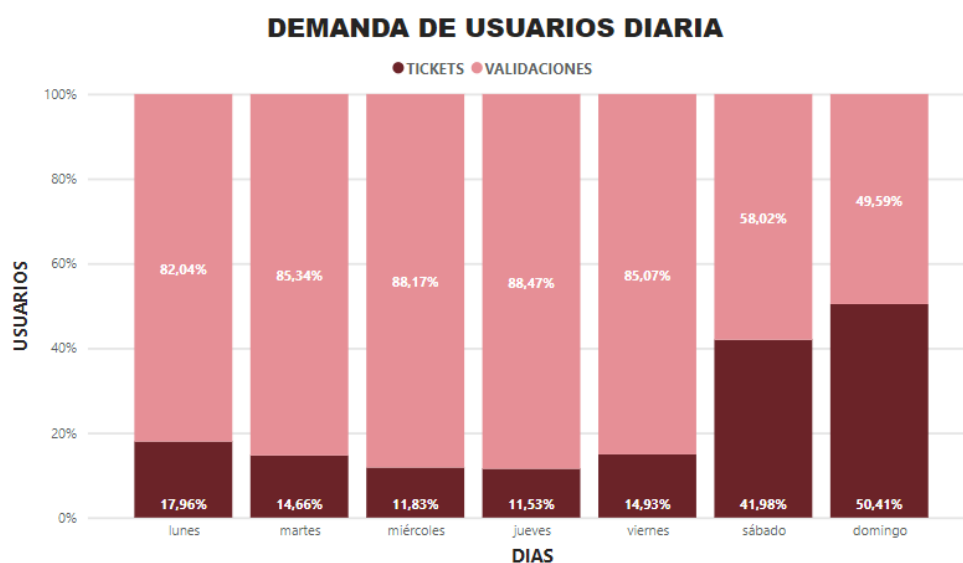
### 2.3.3 Análisis de la demanda de Aerovía

Se procedió a utilizar una base de datos proporcionada por la entidad correspondiente para realizar un análisis de la demanda de usuarios que usan la Aerovía mediante la herramienta de Power BI. Los datos presentes corresponden desde el mes de enero hasta el mes de junio del 2022. Se procede a seccionar por tickets y validaciones (tarjeta).

#### **Demanda de usuarios por día según tickets y validaciones**

En la **Figura 2-26** se observó la demanda de usuarios en promedio que usan la Aerovía según los días de la semana. Los resultados obtenidos indicaron que los sábados y domingo hay más del 50% de usuarios haciendo uso del servicio solo con tickets. Mientras que de lunes a viernes el uso de tarjeta prevalece con respecto a los tickets. Hay que tener en cuenta que el uso de los tickets es una

sola vez, es decir que sirve solo para un viaje, mientras que el uso de tarjeta es de forma regular y personal, se pueden realizar varios viajes en el día.



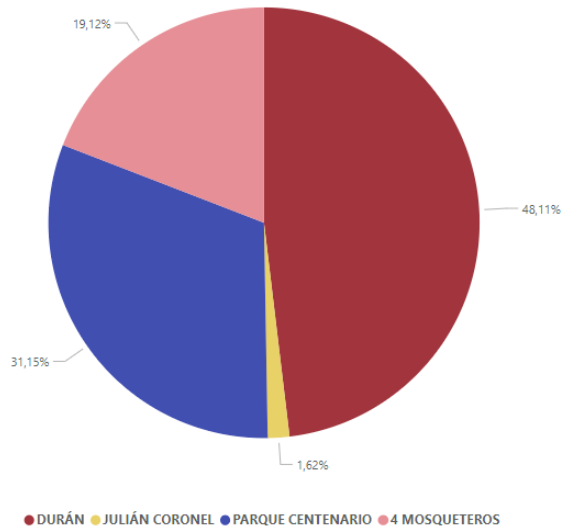
**Figura 2-26 Demanda promedio de usuarios que usan la Aerovía. [Fuente: Elaboración propia]**

### **Demanda de usuarios con validaciones según la parada**

En la **Figura 2-27** se observa la demanda de usuarios por cada parada de Aerovía (Parque Centenario – Julián Coronel – Tres Mosqueteros – Durán), en este caso, se puede ver que Duran cuenta con 48% de alta demanda de usuarios con validaciones de tarjetas. Mientras que en las paradas de Guayaquil prevalece la parada del Parque Centenario con 31% de demanda de usuarios, seguido de la parada de 4 Mosqueteros con 19% y con una demanda baja de 1.6% de usuarios para la parada de Julián Coronel. Al validar cada parada de la Aerovía se identificó que la parada de Coronel es aislada y solo pasan vehículos particulares, es decir no existe algún bus urbano o servicio de Metrovía que facilite la llegada a este punto.

Además, se puede visualizar que de las tres paradas que se sitúan en Guayaquil, la que tiene mayor demanda es la del Parque Centenario y esto puede deberse a que está en un lugar céntrico y a su alrededor existe un alto movimiento de vehículos y de usuarios por comercio, trabajo, visitas, hospitales, hoteles, etc.

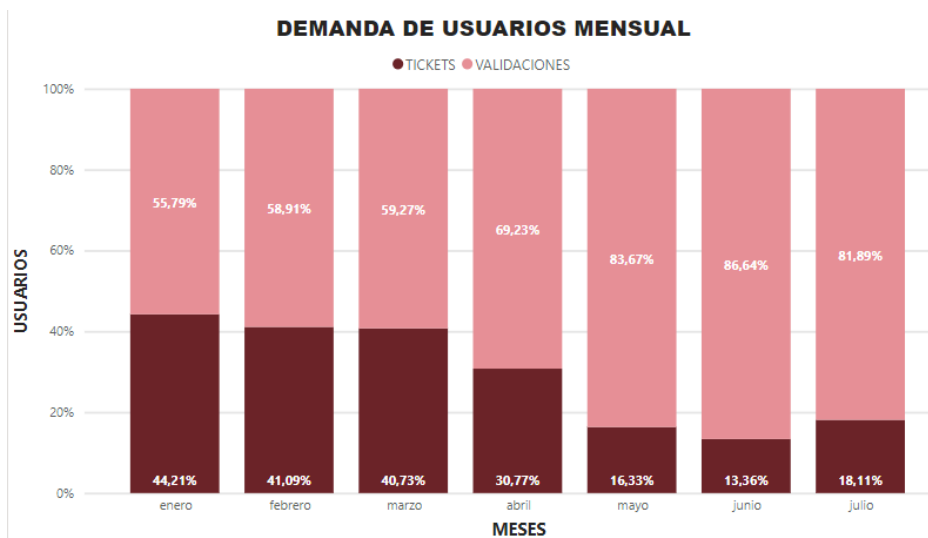
**DEMANDA DE USUARIOS POR CADA PARADA**



**Figura 2-27 Demanda de usuarios por cada parada de Aerovía [Fuente: Elaboración propia]**

**Demanda de usuarios mensual por tickets y validaciones**

Se logra observar en la **Figura 2-28** que la demanda alta de tickets fue entre enero y marzo con un 40% de usuarios mientras que para mayo, junio y julio las validaciones de tarjeta aumentaron a un 85% de usuarios y bajaron un 15% en tickets.



**Figura 2-28 Demanda promedio de usuarios que usan la Aerovía [Fuente: Elaboración propia]**

Esto se identifica en la **Figura 2-29** como disminuye el porcentaje de usuarios al usar el servicio con tickets en el mes de mayo, junio y julio con respecto a los meses anteriores. Sin embargo, se observa que en esa misma figura la demanda total aumenta en el mes de abril, mayo y julio. Este cambio de demanda por uso de tickets o validaciones se validó y actualmente solo venden tickets a los usuarios preferenciales. Y para la tarifa normal el uso del servicio es obligatorio con tarjeta personal y únicamente funcional para una sola persona por ingreso.

#### **PORCENTAJE DE USUARIOS POR MES**

Mes	VALIDACIONES	TICKETS	USUARIOS TOTAL
enero	8,99%	18,73%	199014
febrero	9,93%	18,22%	208325
marzo	8,91%	16,10%	185657
abril	15,66%	18,31%	279439
mayo	18,79%	9,65%	277503
junio	16,74%	6,78%	238617
julio	20,98%	12,21%	316530

**Figura 2-29 Variación de demanda según el tipo pago en Aerovía [Fuente: Elaboración propia]**

#### **Demanda de usuarios mensual por cada parada de Aerovía**

Se observa en la **Figura 2-30** la cantidad de usuarios que han usado el servicio Aerovía con validación de tarjetas entre el mes de enero y julio del año 2022. La parada de Duran es la más utilizada mientras que Julián Coronel apenas tiene 19.510 usuario en total de los meses mencionados.

Mes	PARQUE CENTENARIO	JULIÁN CORONEL	4 MOSQUETEROS	DURÁN
enero	36936	2129	19397	52565
febrero	40085	2001	21606	59027
marzo	35576	1745	19985	52738
abril	60042	2739	37840	92829
mayo	71794	3661	45021	111703
junio	63025	3600	40343	99781
julio	75078	3635	56045	124436
<b>Total</b>	<b>382536</b>	<b>19510</b>	<b>240237</b>	<b>593079</b>

**Figura 2-30 Cantidad de usuarios al mes por cada parada [Fuente: Elaboración propia]**

## Demanda promedio de usuarios diaria según el tipo de tarifa

La **Figura 2-31** detalla que para el sábado y domingo la demanda es alta tanto para la tarifa estándar y reducida. Mientras que para los días laborables la demanda se mantiene en un promedio aproximado de 5 mil usuarios.

<b>PROMEDIO DE USUARIOS</b>		
<b>DÍA</b>	<b>TARIFA ESTANDAR</b>	<b>TARIFA REDUCIDA</b>
lunes	5816	1549
martes	5102	1205
miércoles	5208	1202
jueves	5210	1185
viernes	5571	1404
sábado	7969	2520
domingo	8853	3288
<b>Total</b>	<b>6267</b>	<b>1775</b>

**Figura 2-31 Demanda promedio por día según el tipo de tarifa [Fuente: Elaboración propia]**

### 2.3.4 Análisis de sistemas de transportes

Como parte del levantamiento de información en campo se registró ciertos parámetros importantes de los servicios de transporte normalmente usados por el usuario para dirigirse a Durán que son los taxi rutas y los buses intraprovinciales. También se inspeccionó la data de la ruta alimentadora de la Metrovía en la parada Plaza Centenario cuya operación se encuentra en la subzona, esto con el fin de referenciar esta ruta en este proyecto.

#### **Registro de datos de la ruta alimentadora 'Centro'**

Las franjas horarias de las cuales se obtuvieron los datos fue en horas pico para poder simular ambientes y fijar parámetros muy aproximados a los de una ruta real. La cantidad de buses que se dispusieron para la operatividad de la ruta fue de una unidad. Este caso presenta el peor escenario, pero provee información base de los ciclos que se completan.

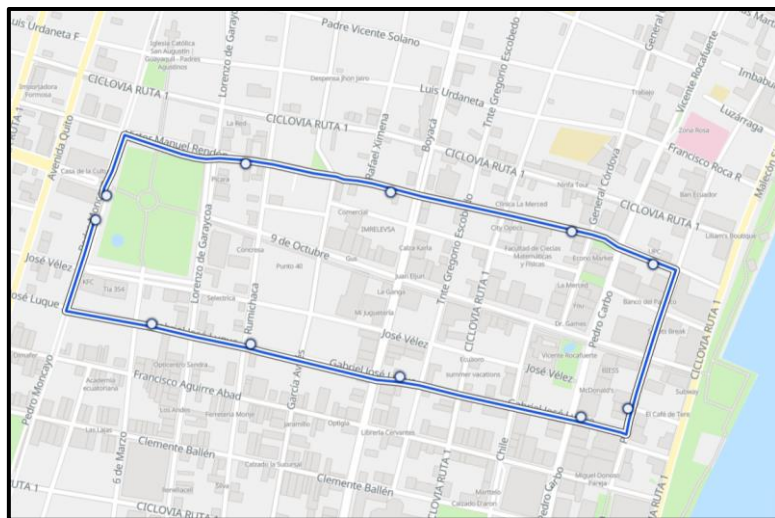
Se registraron los tiempos de salida y de llegada a la parada obteniendo un promedio de 13.83 minutos de recorrido.

Luego de completar un ciclo, el bus alimentador se toma en promedio 6.2 minutos de espera para volver a instalarse en la parada para volver a empezar

el recorrido como se muestra en la **Figura 2-32**. Cabe decir que la espera no se da por completar la capacidad máxima del bus (27 personas) ya que en la parada Plaza Centenario se suben aproximadamente 14 personas en cada vuelta.

El cálculo de la frecuencia se basó en el promedio de los tiempos de llegada a la parada. El tiempo en que 1 bus vuelve a la parada inicial fue igual al tiempo del recorrido anterior y el tiempo que el bus espera para volver a parquearse. Este tiempo fue de 20.25 minutos.

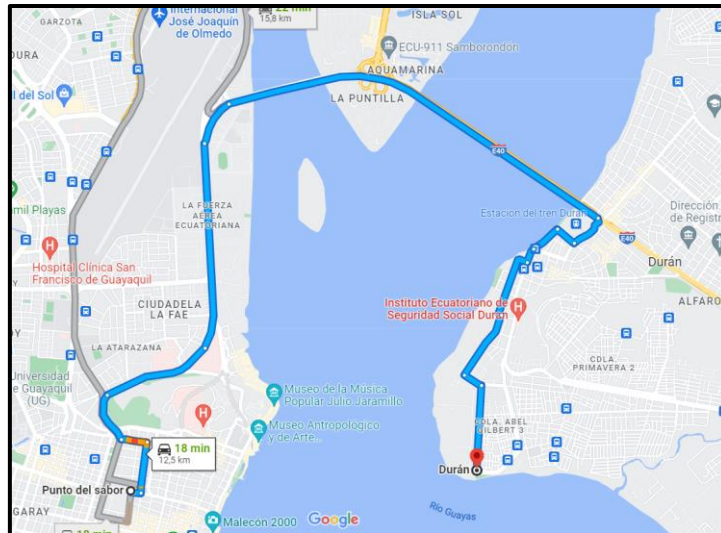
La tarifa de viaje fue \$0.30 la usual en los sistemas de buses urbanos de Guayaquil.



**Figura 2-32 Ruta alimentadora Centro [Fuente: Moovit]**

### **Registro de datos de Taxi Ruta**

Taxi ruta es un servicio de transporte particular que brinda una ruta rápida y sin tiempos de parada desde que sale hasta que llega a su destino como se muestra en la **Figura 2-33**. Se eligió este servicio para realizar el análisis porque cuenta con una gran demanda de usuarios en horas pico que se dirigen a Durán. Por medio de lo observado los taxi rutas brindan el servicio específicamente en horas pico, es decir, cuando están en un horario pico la flota de vehículos aumenta para satisfacer la demanda de los usuarios y fuera de ese tiempo se mantienen en unas 2 o 3 unidades. Algo que no brinda otro sistema de transporte. La frecuencia en esta zona horaria es de aproximadamente 3 minutos y salen a capacidad (4 personas). La tarifa del viaje fue de \$1.50 con un tiempo de viaje aproximado de 28 minutos desde el Parque Centenario hasta la estación de la Aerovía.

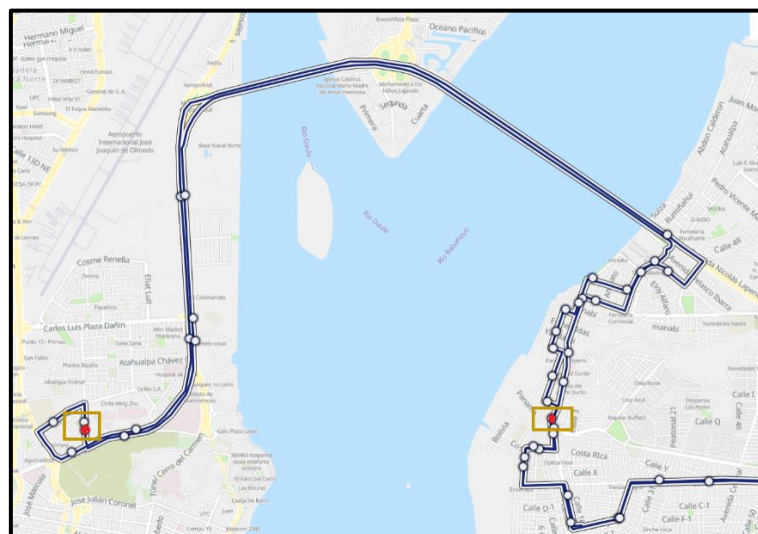


**Figura 2-33 Ruta de Taxi ruta [Fuente: Google Maps]**

### **Registro de datos de ruta de bus Durán (Panorama 81-5)**

La línea de bus de Durán denominada Panorama 81-5 es un bus intraprovincial que llega hasta la calle Democracia o conocida como Puerta 10. Este servicio brinda un recorrido extenso, pero llega a varios lugares de Durán como al Centro de Durán, fabricas, etc. En este caso hemos analizado desde Puerta 10 hasta el Municipio de Durán. La tarifa es de \$0.50 y el tiempo de viaje es de aproximadamente 32 minutos con una frecuencia de 7 minutos en promedio.

En la **Figura 2-34** se puede observar el punto de origen y destino encerrados en un cuadrado amarillo que fue considerado en este análisis.



**Figura 2-34 Ruta de Bus Duran “81-5” [Fuente: Moovit]**



## 2.4 Modelo matemático

El planteamiento presenta las siguientes suposiciones:

- No hay variaciones del tráfico usual ni accidentes en los segmentos de rutas establecidas.
- El tiempo de ciclo es constante  $t_c$ .
- Los buses alimentadores manejan una velocidad constante.
- Cualquier bus alimentador tiene la capacidad de satisfacer la demanda de pasajeros en todas las paradas.
- Los tiempos de espera y de caminata de los usuarios en las paradas distintas a la inicial se incluyen en los tiempos de viaje entre paradas.
- Los tiempos de espera en los semáforos y los retrasos debido a la interacción con el tráfico se incluyen en los tiempos de viaje entre paradas.

Para la formulación matemática se fijaron los siguientes parámetros y variables:

<b>Símbolos</b>	<b>Parámetros</b>
$N$	Conjunto de paradas
$A$	Conjunto de tiempos de viaje entre paradas
$B$	Flota de buses alimentadores asignados a la ruta
$i, j$	Índices de las paradas
$t_{i,j}$	Tiempo de viaje entre paradas $i, j$ en minutos
$t_a$	Tiempo que el bus permanece inmóvil antes de ubicarse en la parada inicial en minutos
$t_n$	Tiempo promedio de retraso por reducción de velocidad y aceleración en las paradas en minutos
$t_q$	Tiempo total de embarque y desembarque de pasajeros en las paradas a lo largo de un ciclo
<b>Símbolos</b>	<b>Variables</b>
$x_{i,j}$	$x_{i,j} = 1$ si se toma el segmento $i, j$ , $x_{i,j} = 0$ si no
$u_i$	Demanda acumulada del bus alimentador
$f$	Frecuencia del bus en vehículos/minuto
$t_c$	Tiempo de un ciclo completo
$r$	Número total de recorridos en la franja horaria establecida

**Tabla 2-4 Parámetros y variables del modelo matemático [Fuente: Elaboración propia]**

$$z = \min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} t_{i,j} x_{i,j} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

st:

$$\sum_{j \in N, j \neq i} x_{i,j} = 1, \quad \forall i \in N \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$$\sum_{i \in N, i \neq j} x_{i,j} = 1, \quad \forall j \in N \quad \text{Ecuación 2.3}$$

$$t_c = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} t_{i,j} x_{i,j} + t_a + t_n + t_q \quad \text{Ecuación 2.4}$$

$$f = \frac{B}{t_c} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

$$u_i - u_j + |N|x_{i,j} \leq |N| - 1, \quad \forall i, j \in N: i \neq j \quad \text{Ecuación 2.6}$$

$$1 \leq u_i \leq |N|, \quad \forall i \in N \quad \text{Ecuación 2.7}$$

$$x_{i,j} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \in N \quad \text{Ecuación 2.8}$$

La función objetivo (2.1) pretende minimizar el tiempo de viaje considerando todas las paradas.

Las restricciones (2.2) y (2.3) especifican que en toda parada solamente lleguen y salgan arcos solo una vez. La restricción (2.4) establece el tiempo total de un ciclo completo: desde que el bus parte de la primera parada hasta que vuelve a la misma. (Jara-Diaz & Gschwender, 2003)

La restricción (2.5) determinan la frecuencia en vehículos por minuto. Las restricciones (2.6) y (2.7) eliminan los sub-ciclos y, por último, la restricción (2.8) dispone el intervalo de la variable binaria.

## 2.5 Algoritmo *Simulated Annealing* (implementación del modelo matemático)

La formulación matemática que se propuso para el diseño de una ruta es de una clasificación de problemas con una complejidad de resolución considerable. Para la búsqueda de una buena ruta se trabajó con la metaheurística de recocido simulado que básicamente simula el proceso del calentamiento de un material y su posterior enfriamiento.

El algoritmo utiliza la temperatura como parámetro de salida del algoritmo y termina cuando se ha alcanzado la temperatura que se ha definido como la más baja. En medio de ese proceso, se tuvo que construir una solución que sea factible, es decir, esté sujeta a todas las restricciones del problema. Luego se generaron otras soluciones y en cada iteración se determinó si la nueva solución factible tiene el menor tiempo. Si es el caso, se actualizó la solución, caso contrario el tiempo siguió siendo el anterior.

Se presenta el diagrama de flujo en la **Figura 2-35** con la estructura que considera el algoritmo.

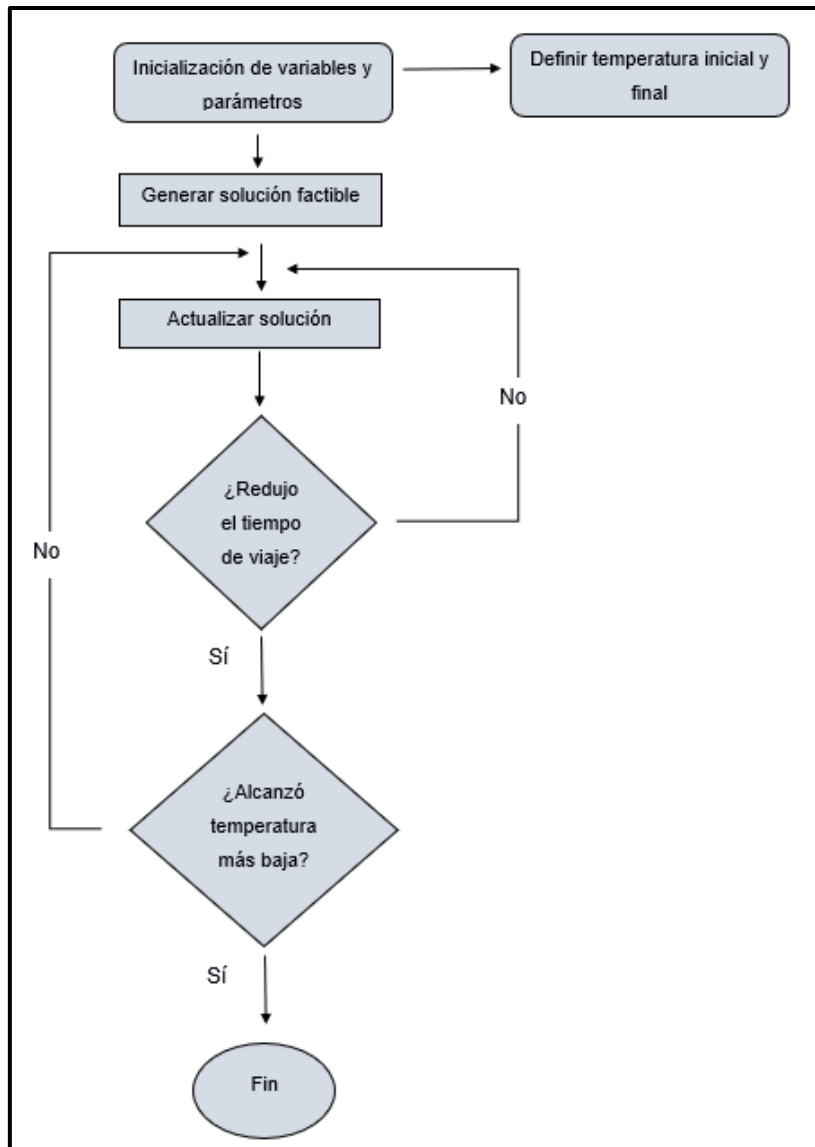


Figura 2-35 Diagrama de flujo del Algoritmo [Fuente: Elaboración propia]

## 2.6 Softwares utilizados

El proyecto utilizó dos herramientas para el diseño de la ruta alimentadora.

La primera fue el intérprete PyCharm para el desarrollo del algoritmo en el lenguaje de programación Python que busca la ruta más corta según los parámetros ingresados.

La segunda fue el sistema de información geográfica QGIS para las representaciones de la ruta alimentadora como también integrándola con otros sistemas en una misma plantilla geográfica.

## 2.7 Consideraciones éticas y legales

Este proyecto encamina su desarrollo dentro de las bases legales impuestas en el Reglamento de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial (LOTTTSV) y el Reglamento de Transporte Terrestre Público Intraprovincial de Pasajeros que evalúan la alternativa propuesta frente a las demás que son comúnmente elegidas por los usuarios del servicio de transporte hacia Durán:

- Según el artículo 57 de la LOTTTSV los taxis entran en la clasificación de servicios de transporte comerciales ya que proveen el servicio de transporte a cambio de una contraprestación económica pero no es un servicio de transporte colectivo o masivo. Los llamados ‘taxi rutas’ son taxis que establecen una ruta y la ejecutan con una cierta frecuencia. El artículo mencionado prohíbe que se fijen rutas y frecuencias para los servicios de transporte comerciales.

Por otro lado, el bus alimentador sirve a los sistemas de metro y teleféricos que entran en la categoría de servicios de transporte público colectivos y/o masivos de acuerdo con el artículo 56. El planteamiento de rutas entra en el marco legal de la ley y beneficia a las organizaciones involucradas en esta propuesta.

- Según el artículo 32 del Reglamento de Transporte Terrestre Público Intraprovincial de Pasajeros las operadoras de transporte deben proveer un servicio de transporte el cual solamente embarque y desembarque de pasajeros en los terminales terrestres y en las paradas autorizadas por las Direcciones Provinciales de la ANT.

La importancia de este punto radica en que es muy popular que los buses colectivos en Guayaquil recojan o dejen pasajeros en ubicaciones que no son las paradas establecidas para la ruta que recorre. Un debido cumplimiento del enunciado promueve un orden en los sistemas de transporte de la ciudad, mejorando la accesibilidad de los usuarios.

De los títulos habilitantes:

- La LOTTTSV establece en el artículo 66 que los Contratos de Operaciones serán habilitados a personas jurídicas que cumplan con los requisitos preestablecidos para la prestación de servicios de transporte terrestre *público*.

- El artículo 67 precisa que el Permiso de Operación se concede a personas jurídicas para la prestación de servicios de transporte terrestre *comercial*.
- De acuerdo con el artículo 83 de la LOTTTSV la competencia para otorgar los títulos habilitantes la tendrá la Agencia Nacional de Tránsito en el caso de que los GADs no hayan asumido esta competencia. Si en Guayaquil, el GAD ha asumido la responsabilidad de emitir títulos habilitantes a los sistemas de transporte terrestre intracantoniales, clasificación en la cual entra la ruta propuesta, será este organismo quien autorice las operaciones del bus alimentador.

Por lo tanto, los títulos habilitantes le permiten a quien presta el servicio de transporte tener la autoridad para movilizar personas y/o bienes según los vehículos y ámbitos que correspondan a su actividad comercial. Haberle concedido uno de estos títulos no justifica que puedan desarrollar su actividad prestando todos los servicios de transporte terrestre.

## 2.8 Cronograma de trabajo

Tarea	Descripción	Fecha Inicio	Duración en días	Fecha Fin
A	Reunión sobre el tema de Proyecto Integrador	10/5/2022	1	11/5/2022
B	Investigación del tema proporcionado	11/5/2022	10	21/5/2022
C	Reunión consorcio Aerovía	3/6/2022	1	4/6/2022
D	Definición y alcance del problema	6/6/2022	6	12/6/2022
E	Definición objetivos, antecedentes y problemática	13/6/2022	5	18/6/2022
F	Definir Marco teórico y estado del arte	20/6/2022	5	25/6/2022
G	Reunión con Gerente de ATM y Aerovía	28/6/2022	1	29/6/2022
H	Obtención de Base de datos	30/6/2022	2	2/7/2022
I	Análisis y tabulación de Base de datos	3/7/2022	5	8/7/2022
J	Validar información en campo	9/7/2022	2	11/7/2022
K	Levantamiento de información en campo	11/7/2022	3	14/7/2022
L	Registro y tabulación de información	14/7/2022	2	16/7/2022
M	Redacción y entrega final de Metodología	16/7/2022	2	18/7/2022
N	Alinear los resultados obtenidos del análisis previo	25/7/2022	3	28/7/2022
O	Plantear Algoritmo Recocido Simulado	29/7/2022	2	31/7/2022
P	Implementar y Ejecutar Algoritmo	1/8/2022	2	3/8/2022
Q	Validar la integración de la nueva ruta	4/8/2022	1	5/8/2022
R	Medir accesibilidad de la ruta alimentadora	5/8/2022	2	7/8/2022
S	Análisis financiero	8/8/2022	3	11/8/2022
T	Conclusiones y Recomendaciones	12/8/2022	2	14/8/2022
U	Redacción y entrega final de Capítulo 3 y 4	14/8/2022	2	16/8/2022

Figura 2-36 Cronograma de actividades del Proyecto [Fuente: Elaboración propia]

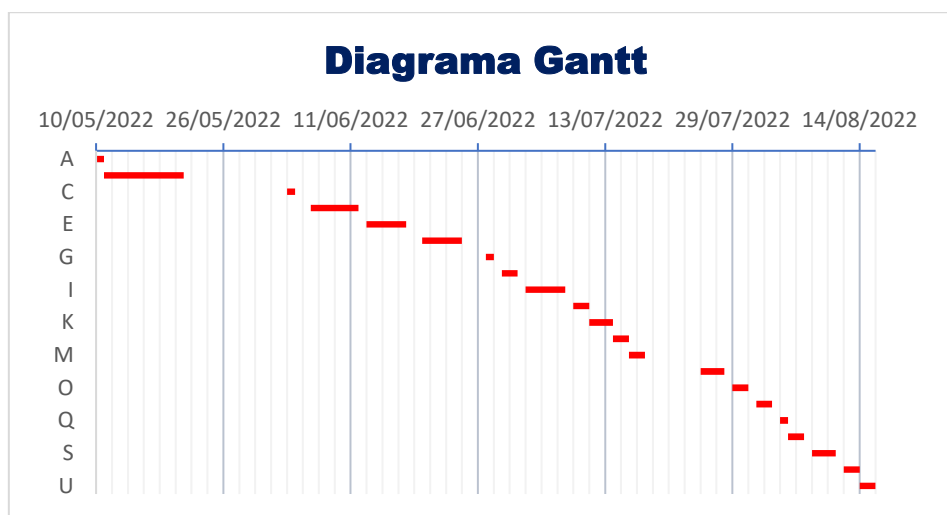


Figura 2-37 Diagrama de Gantt (actividades) [Fuente: Elaboración propia]

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

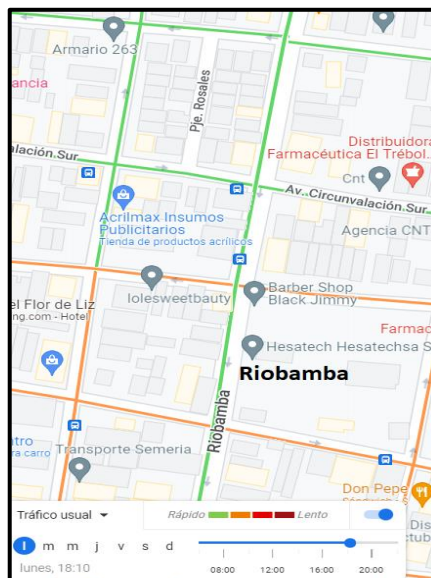
De acuerdo con la investigación realizada en el capítulo anterior, fueron considerados los paraderos de Metrovía, los niveles de congestión, puntos estratégicos y los sectores con destinos más frecuentados por usuarios de Aerovía. Luego se procedió a establecer las paradas estratégicas que posibiliten una ruta eficiente. Así mismo se generó un recorrido principal del bus alimentador a través del algoritmo propuesto, pero también se plantearon otras rutas sustitutas como alternativas.

Luego se procedió con la simulación en el software QGIS de las rutas resultantes y también un análisis de la accesibilidad por paradas estratégicas a través de un análisis de isócronas.

### 3.1 Paraderos

#### Calle Riobamba

La calle Riobamba que va desde el cementerio en sentido norte - sur mostró poca congestión vehicular en horas pico como se muestra en la **Figura 3-1**, lo cual aumenta a medida que se acerca al centro de la ciudad.

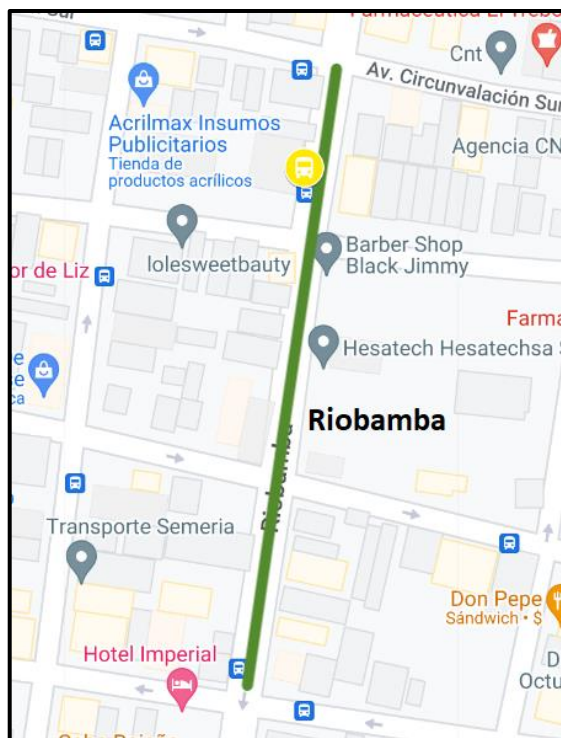


**Figura 3-1 Nivel de congestión en Riobamba [Fuente: Google Maps]**



Los puntos estratégicos observados en la **Figura 2-10** muestra que es una zona donde existe atracción de personas por las actividades que se realizan, las cuales están relacionadas a la compraventa de medicamentos, servicios de alimentación y de hospedaje, debido a la numerosa cantidad de farmacias, restaurantes y hoteles en el sector.

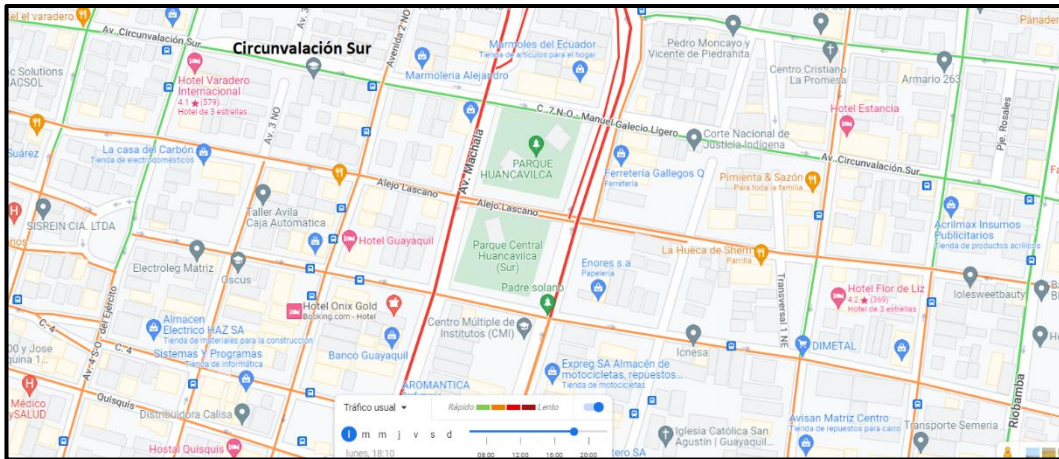
Una vez realizado el análisis, se fija el paradero como se muestra en la **Figura 3-2** ya que se aprovecha la infraestructura que existe en el punto como el uso de la parada existente y además que el carril es uso exclusivo de Metrovía.



**Figura 3-2 Parada estratégica en Riobamba [Fuente: Elaboración propia]**

### **Calle Circunvalación Sur**

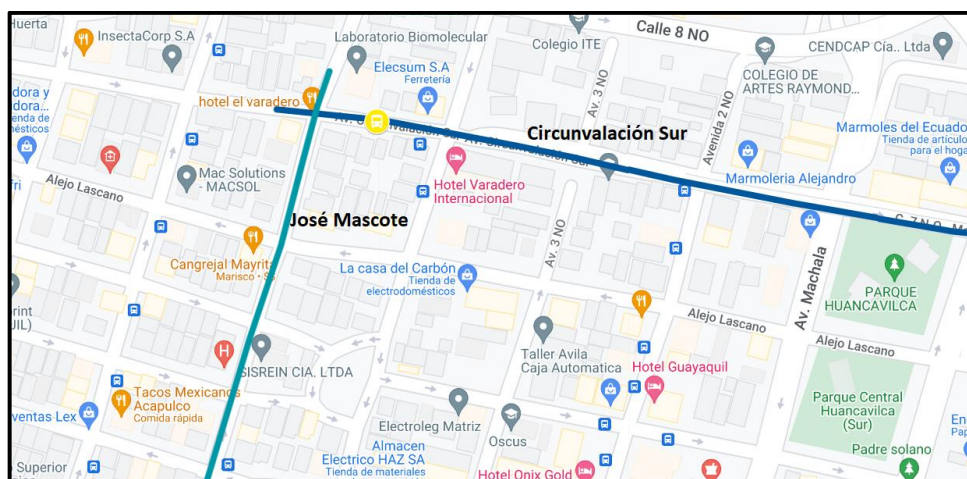
Consecuente del análisis previo se identificó una calle que frecuentemente está en un estado sin congestión. En esta calle se encuentra un puente y no hay semáforos, lo que agiliza la movilización.



**Figura 3-3 Nivel de congestión en Circunvalación Sur [Fuente: Google Maps]**

Como se observó en la **Figura 2-19** y **Figura 2-20**, alrededor de la calle Circunvalación Sur existe una gran cantidad de locales, en su mayoría farmacias y restaurantes que contribuyeron a la elección de esta calle como parte del recorrido del bus.

Fue conveniente establecer una parada cercana a la intersección con la calle José Mascote como se muestra en la **Figura 3-3** ya que en este caso se aprovechó la existencia de un paso a desnivel en la calle Circunvalación Sur lo cual reduce el tiempo de viaje por lo que evitaría congestión vehicular y reduciría tiempos de semaforización. De la misma forma, se consideró también que se estableció el paradero en la calle Riobamba, es decir al finalizar el puente por el análisis que se realizó en la calle mencionada.

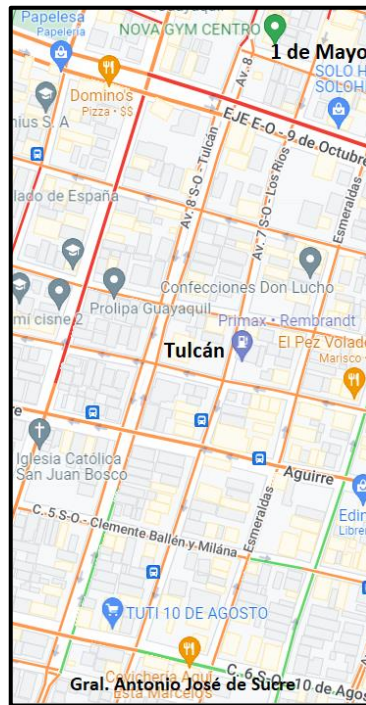


**Figura 3-4 Parada estratégica entre José Mascote y Circunvalación Sur [Fuente: Elaboración propia]**

### Calle Tulcán

Esta calle posee dos carriles en ambos sentidos, uno para vehículos particulares y otro exclusivo de Metrovía que va desde la calle 1er. de Mayo hasta la intersección con Gral. Antonio José de Sucre.

Cercana a esta calle, se encuentran varios restaurantes, farmacias e instituciones educativas, resaltando el emblemático Colegio Vicente Rocafuerte que es un colegio insignia en la ciudad de Guayaquil.



**Figura 3-5 Nivel de congestión en Tulcán [Fuente: Elaboración propia]**

El tráfico usual de Tulcán mostrado en la **Figura 3-5** pertenece al carril de los vehículos particulares mostrado en la **Figura 3-6**, este análisis proviene de los esquemas de congestión hechos en el capítulo anterior. Como resultado del escaso número de carriles para los móviles particulares, es común observar algo de tráfico en esta calle.



**Figura 3-6 Tipos de Carriles en la Calle Tulcán [Fuente: Elaboración propia]**

Sin embargo, este estudio consideró el uso del carril exclusivo de Metrovía por el bajo nivel de congestión que presenta, de esa forma contribuye con la eficiencia de la ruta.

Además, en esta calle se encuentra la parada de Metrovía Colegio Vicente Rocafuerte que fue fijada como un paradero estratégico como se muestra en la **Figura 3-7**, ya que es conveniente utilizarla como parte de la ruta porque se integra con la Troncal 3 captando a usuarios que provienen de paradas anteriores. Es decir, usuarios que realizan actividades diarias como es el caso de los estudiantes de la Universidad de Guayaquil y todos aquellos que realizan algún trámite o compran un servicio en los puntos señalados en la **Figura 2-16**.

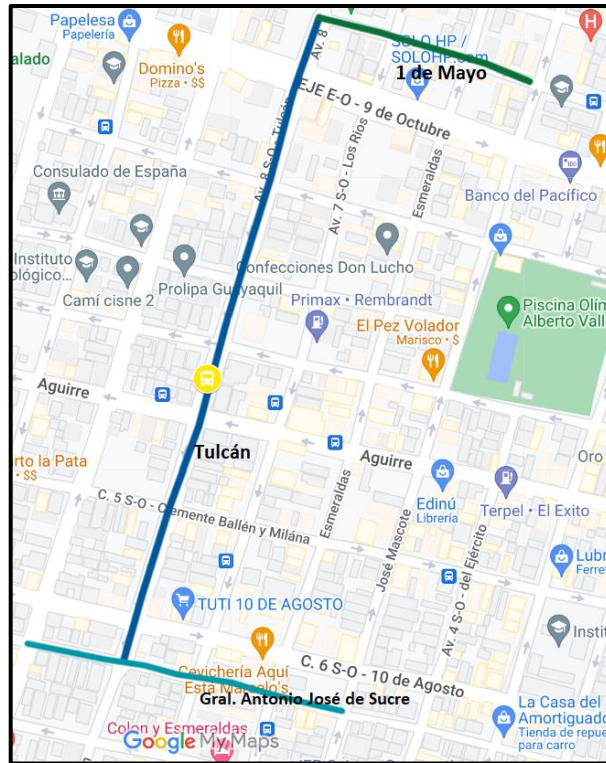


Figura 3-7 Parada estratégica en la Calle Tulcán [Fuente: Elaboración propia]

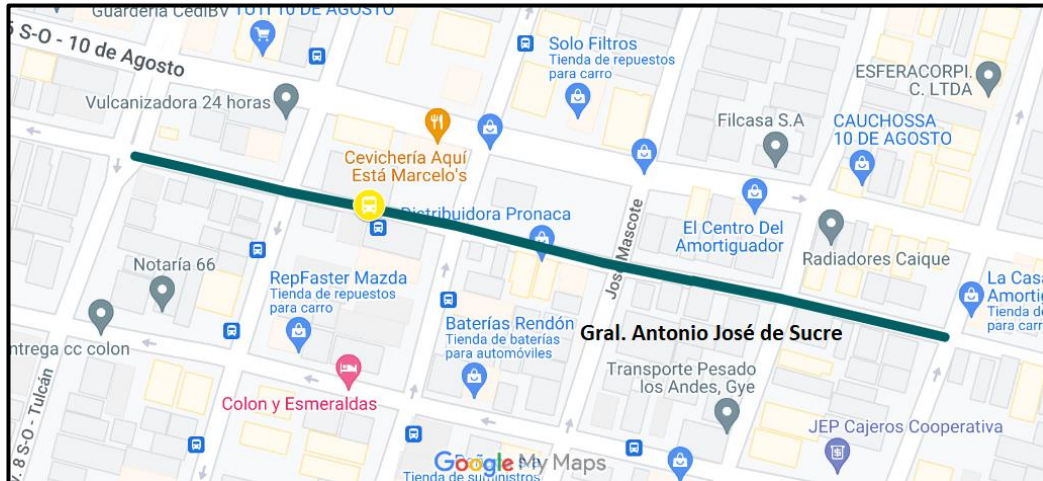
### Calle General Antonio José de Sucre

A partir de la intersección con la calle Tulcán, Gral. Antonio José de Sucre es de uso exclusivo de Metrovía como se indica en la **Figura 3-8**, por lo que esta vía evita el tráfico vehicular.



Figura 3-8 Carril Exclusivo de Metro vía en la calle José de Sucre [Fuente: Google Maps]

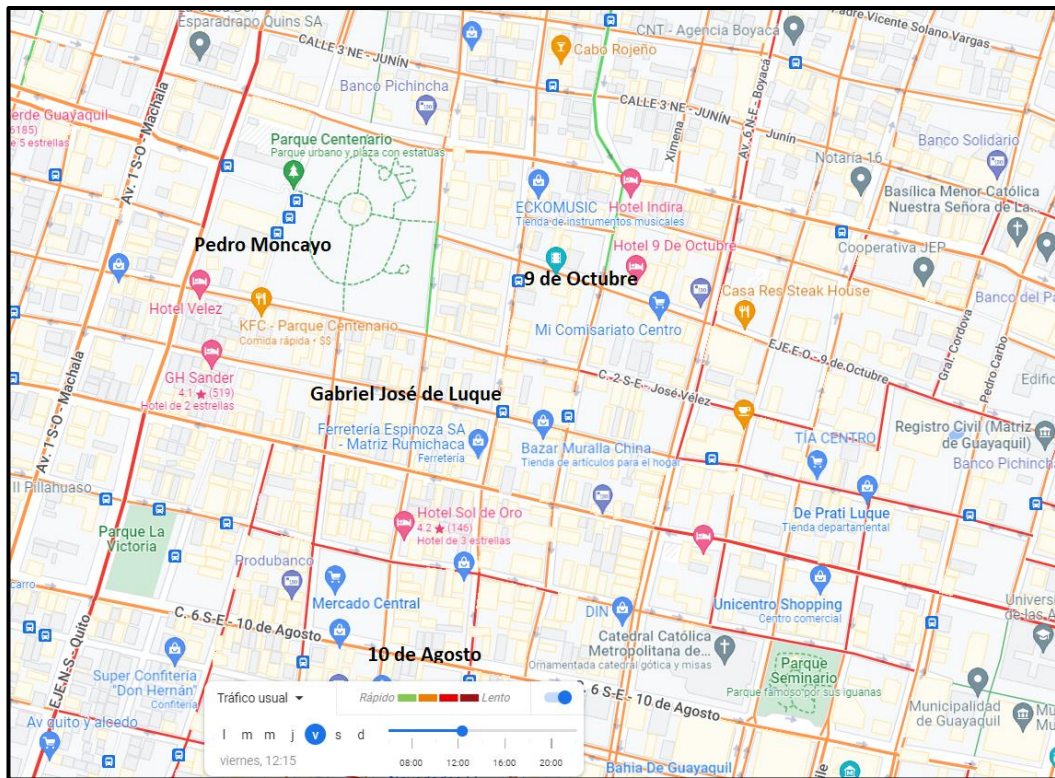
Asimismo, por el hecho de que en la **Figura 2-20** se visualiza diferentes tipos de actividad alrededor de la calle, fue idóneo considerarla parte del recorrido. De igual manera que el paradero de Tulcán, se aprovechó el paradero Esmeraldas de Metrovía para ser parte de las paradas estratégicas donde se alimentará el bus. En la **Figura 3-9** se muestra la parada Esmeraldas ubicada en la calle Gral. Antonio José de Sucre entre Tulcán y Los Ríos.



**Figura 3-9 Parada Estratégica de la Calle José de Sucre [Fuente: Elaboración propia]**

### **Calles Pedro Moncayo, 9 de Octubre, 10 de Agosto y Gabriel José de Luque**

Un marco habitual de congestión que se presenta en esta zona es el que se muestra en la **Figura 3-10** el cual expone un significativo tráfico vehicular en las calles 9 de Octubre, 10 de Agosto y Gabriel José de Luque en este sector de la subzona Este.



**Figura 3-10 Nivel de congestión en José de Sucre, Pedro Moncayo y 9 de Octubre [Fuente: Elaboración propia]**

En esta demarcación se visualiza en la **Figura 2-11** con una cuantiosa cantidad de puntos estratégicos. Es muy conocida la popularidad de la calle 9 de Octubre que está rodeada de locales comerciales, iglesias, restaurantes, cine e instituciones de administración pública.

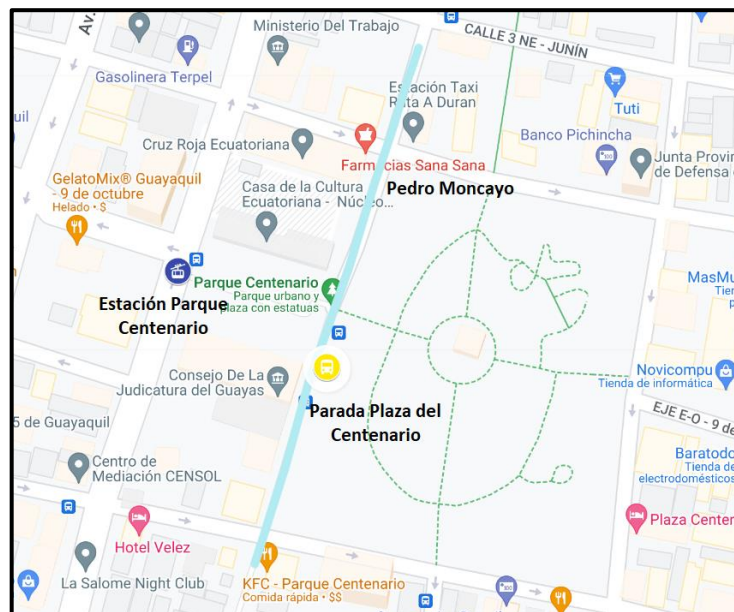
Estos puntos se siguen expandiendo alrededor de las calles contiguas como las mencionadas, por lo cual se goza de un sector con actividades muy diversas.

La calle Pedro Moncayo posee dos carriles por cada sentido y son de uso exclusivo de Metrovía exhibidos en la **Figura 3-11** lo que representa una movilización rápida y la mejor opción para fijar la parada.



**Figura 3-11 Carril exclusivo Metrovía Pedro Moncayo [Fuente: Elaboración propia]**

Para que exista la integración con Aerovía, se determinó como paradero la Plaza del Centenario que está muy cerca de la estación Parque Centenario de Aerovía. En la **Figura 3-12** se representa la parada Plaza del Centenario con la etiqueta amarilla y la estación de la Aerovía Parque Centenario con etiqueta azul. La calle marcada es la vía Pedro Moncayo.



**Figura 3-12 Parada Estratégica en Pedro Moncayo [Fuente: Elaboración propia]**

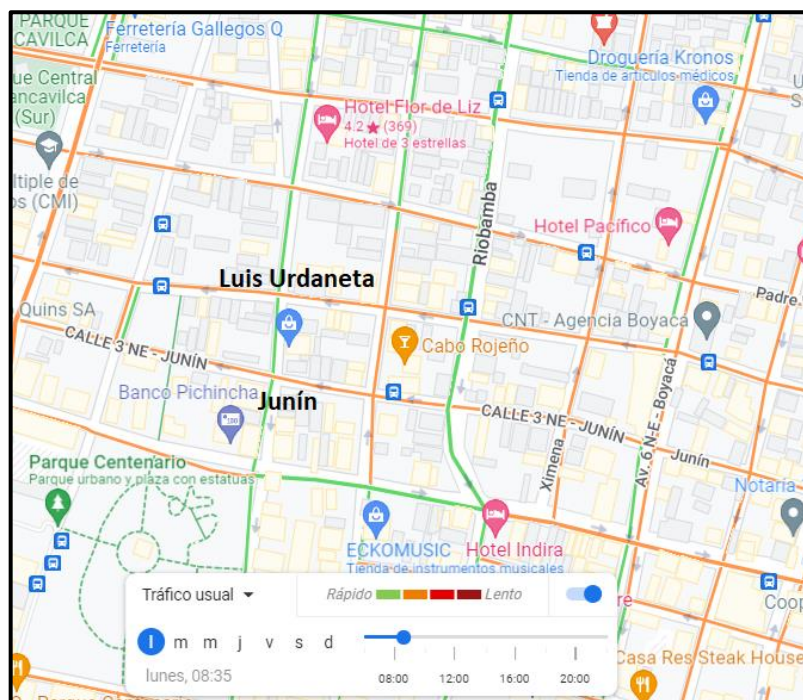


Esta parada a más de ser parte del recorrido del bus alimentador cumple dos funciones clave en la operación de la ruta:

1. Ser el paradero que alimente al sistema de transporte Aerovía, realizando la integración propuesta con la estación Parque Centenario.
2. Integrar la Troncal 2 '25 de Julio', en la cual se encuentra esta parada, con la troncal 3 Bastión Popular a la que pertenecen las paradas Colegio Vicente Rocafuerte y Esmeraldas que, hasta el momento de realizar este proyecto, se encuentran sin ser conectadas por alguna parada de trasbordo.

### Calles Junín y Luis Urdaneta

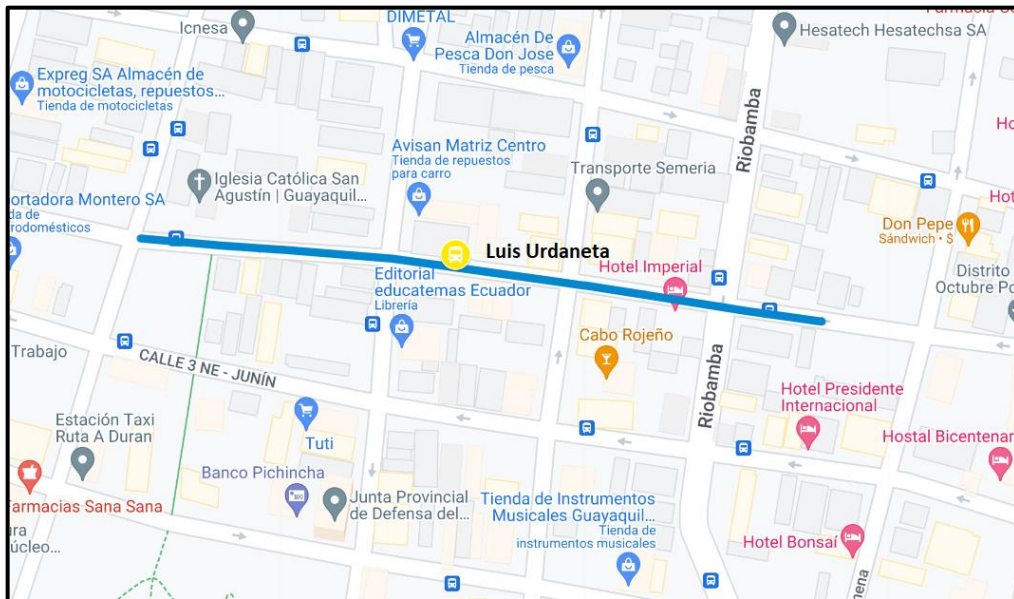
Estas calles presentaron un panorama comúnmente congestionado como se muestra en la **Figura 3-13**, pero debido a la alta densidad de actividades que se realizan en esta zona como se muestra en la **Figura 2-10**.



**Figura 3-13 Nivel de congestión en Luis Urdaneta y Junín [Fuente: Elaboración propia]**

De esa forma, se consideró la calle Luis Urdaneta para establecer un paradero estratégico del bus alimentador como se muestra en la **Figura 3-14**, aunque Junín pudo también ser escogida debido a su cercanía y similitud

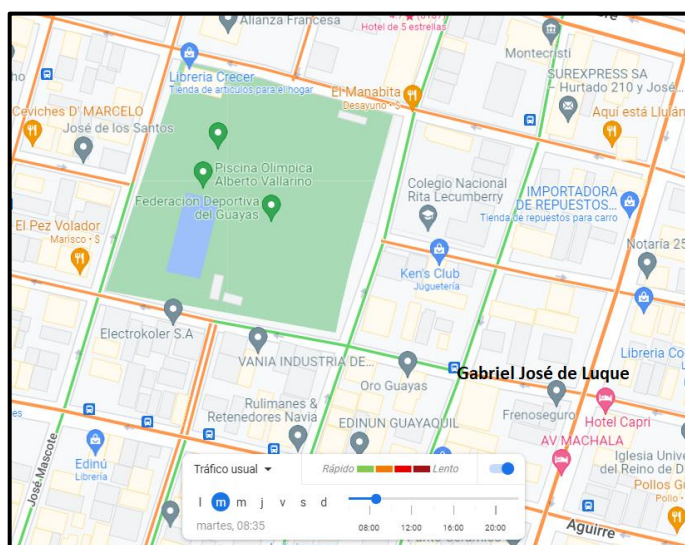
en sus características (niveles de tráfico y sentido de la vía). Además de que en ambas pueden satisfacerse los destinos de los usuarios del sistema aerosuspendido.



**Figura 3-14 Parada Estratégica en la Calle Luis Urdaneta [Fuente: Elaboración propia]**

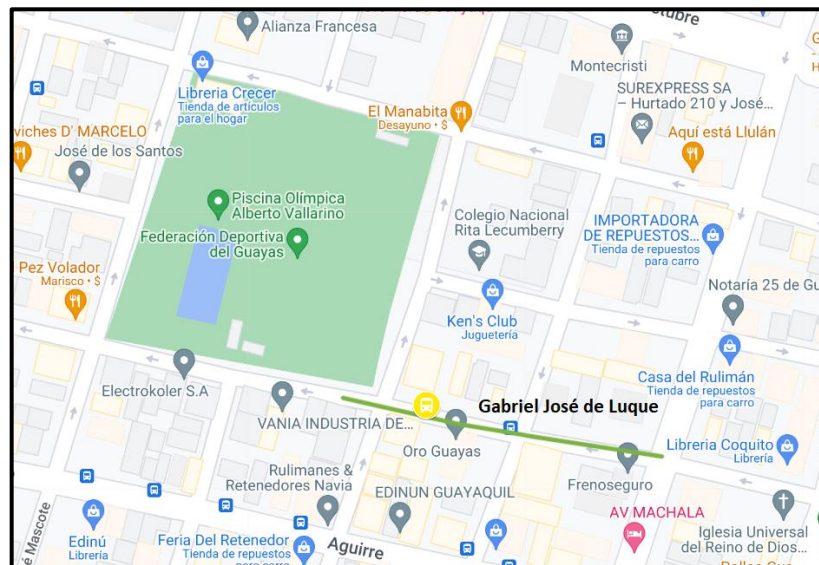
### **Calle Gabriel José de Luque en subzona Oeste**

En su mayoría, las calles muestran niveles más bajos de tráfico en el horario de las 08:35 como se observa en la **Figura 3-15**. Esto va cambiando a lo largo del día como se mostró en el análisis del capítulo anterior.



**Figura 3-15 Nivel de congestión en José de Luque [Fuente: Elaboración propia]**

Ese segmento de Gabriel José de Luque también se visualiza con muchos puntos estratégicos **Figura 2-20** por eso fue ideal anexarla a la ruta para ser un punto que enlace las paradas antes definidas en Roca con las que se dispusieron en 9 de Octubre. El paradero designado en la calle Luque se observa en la **Figura 3-16**.

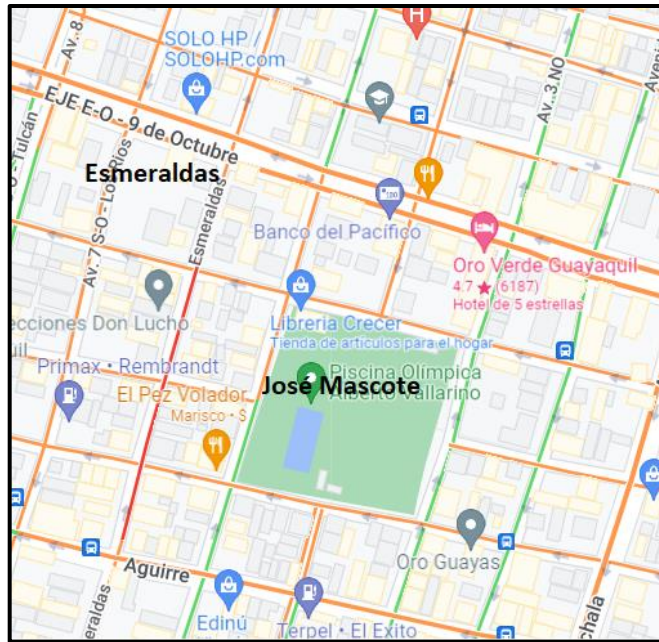


**Figura 3-16 Parada estratégica de Calle José de Luque [Fuente: Elaboración propia]**

### **Calles José Mascote y Esmeraldas**

Por último, se analizaron las calles José Mascote y Esmeraldas como vías para conectar con las paradas de Riobamba y Circunvalación Sur. Entre las dos calles, José Mascote mostró menos niveles de congestión que Esmeraldas. Si bien es cierto, existe similitud en algunos días con las mismas franjas horarias. Sin embargo, Esmeraldas rara vez se encontró con rápido flujo y esto se debe a que en esta calle circulan varias líneas de transporte urbano como la línea 117, 98, 119, 35, 42, 62, etc.

En la **Figura 3-17** se expone uno de los escenarios cuando el nivel de tráfico difiere y resulta Esmeraldas la vía de traslado más lenta.

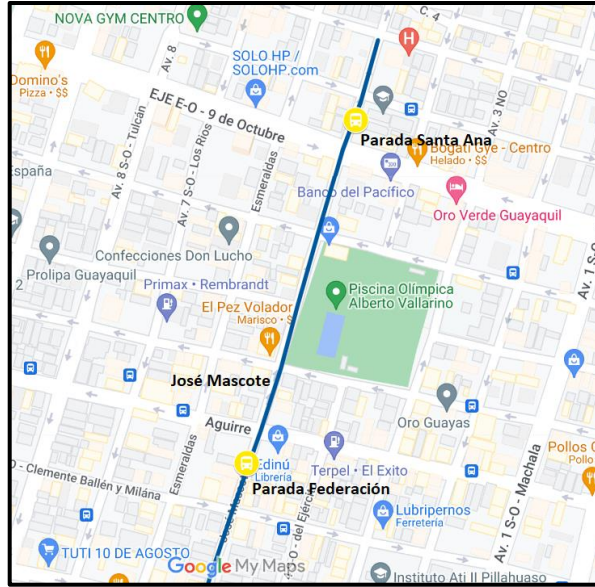


**Figura 3-17 Nivel de congestión en Calle José Mascote y Esmeraldas [Fuente: Elaboración propia]**

En José Mascote se encuentra la intersección con 9 de Octubre, que disfruta de la presencia de bancos, locales comerciales, restaurantes y notarías, por lo que se determinó un paradero pasando la intersección.

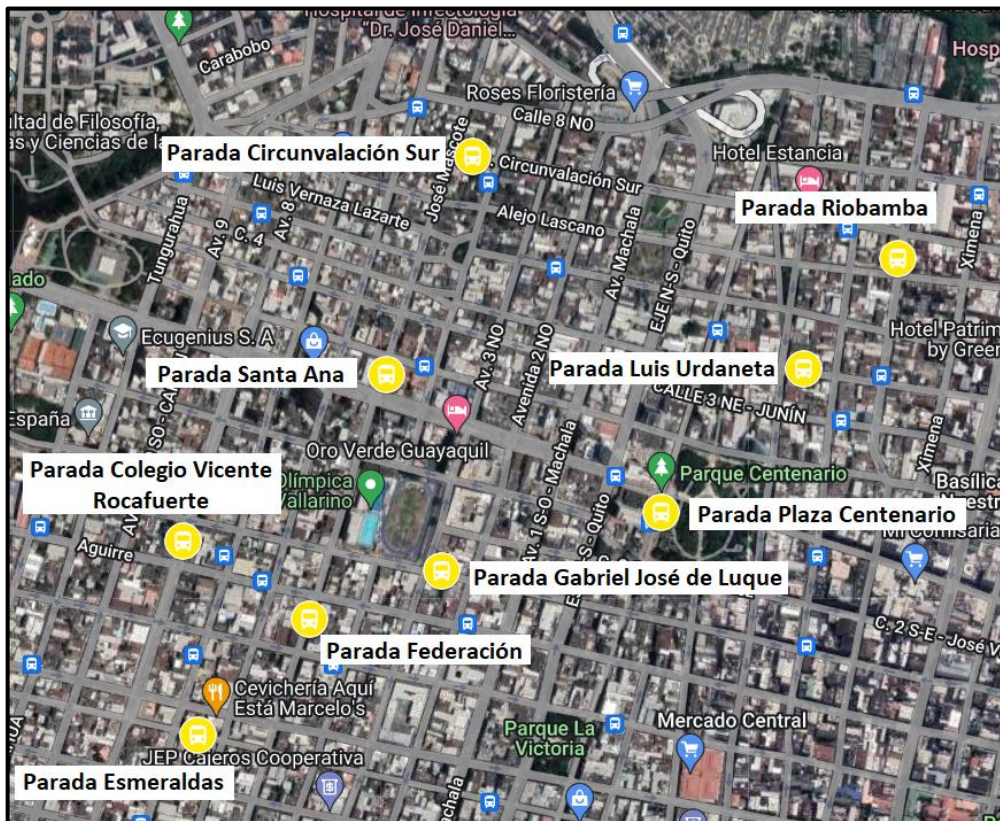
Como parte de la propuesta del proyecto que fue abarcar gran parte de la parroquia 9 de Octubre la cual es un destino muy frecuentado por los usuarios de Aerovía, se fijó otra parada entre la calle Aguirre y Clemente Ballen considerando que por esta intersección los usuarios pueden dirigirse a otros sectores de la ciudad a través de las líneas de transporte urbano que pasan por la calle Aguirre, una de las líneas en mención es la 107, 125, 140, 142, 9, etc.

En la **Figura 3-18** se observan las paradas establecidas en la calle José Mascote.



**Figura 3-18 Paraderos estratégicos en Calle José Mascote [Fuente: Elaboración propia]**

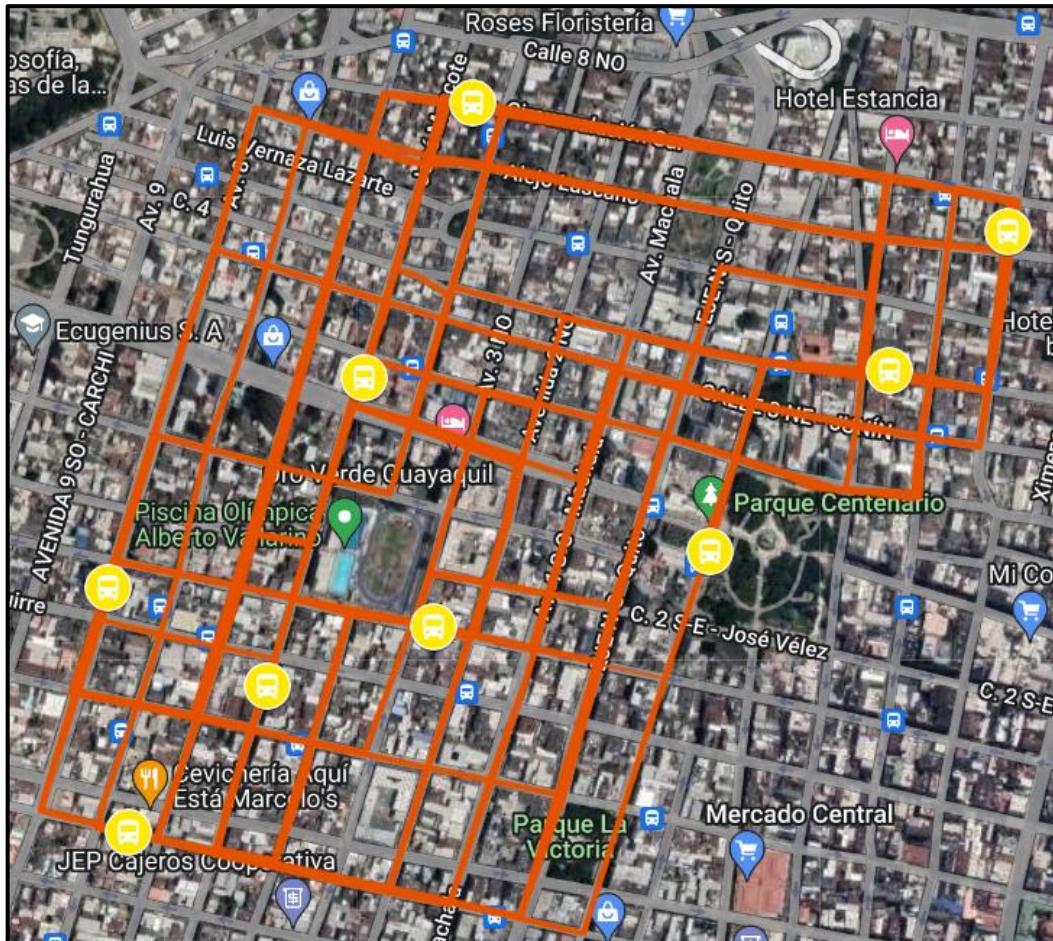
Las paradas establecidas fueron 9 y se las puede observar en la **Figura 3-19**.



**Figura 3-19 Total de Paraderos asignados para la ruta [Fuente: Elaboración propia]**

### 3.2 Elaboración de la matriz de tiempos de viaje

Para ejecutar el modelo matemático y obtener una ruta que se basa en minimizar el tiempo de viaje con la finalidad de visitar todas las paradas. Se inició estableciendo la red vial en las que se encuentran todos los recorridos entre las paradas  $n = 1, 2, \dots, 9$  como se muestra en la **Figura 3-20**.



**Figura 3-20 Red vial que abarca todos los recorridos [Fuente: Elaboración propia]**

Con estos recorridos se obtuvo la matriz de distancia. Cabe mencionar que esta matriz considera sentidos de vía, la posibilidad de girar en las intersecciones y caminos cerrados que fueron validados en el levantamiento de información del capítulo anterior.

La matriz con las distancias en Kilómetros es mostrada en la **Tabla 3-1**.

Distancia [km]	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,00	0,40	0,85	0,40	1,20	2,50	0,94	2,10	1,80
2	0,31	0,00	0,45	0,61	0,85	2,37	0,90	1,60	2,00
3	0,81	1,39	0,00	1,28	0,42	1,63	0,63	1,20	1,50
4	0,42	0,35	0,77	0,00	1,19	2,39	1,11	1,96	1,75
5	1,10	1,69	0,60	1,52	0,00	1,21	0,92	0,75	1,19
6	1,42	1,26	0,98	1,15	1,03	0,00	0,49	0,89	0,59
7	0,47	0,76	0,49	0,66	0,91	1,49	0,00	1,67	1,14
8	1,70	2,06	1,28	1,98	0,91	0,77	1,30	0,00	0,35
9	1,42	1,68	0,90	1,57	0,95	0,40	0,90	0,85	0,00

**Tabla 3-1 Distancias entre paradas [Fuente: Elaboración propia]**

Siendo la Parada Colegio Vicente Rocafuerte (1), Parada Federación (2), Parada Santa Ana (3), Parada Esmeraldas (4), Parada Circunvalación Sur (5), Parada Plaza Centenario (6), Parada Gabriel José de Luque (7), Parada Riobamba (8) y Parada Luis Urdaneta (9). Se detalla en la tabla 5454 el nombre de la parada con su correspondiente identificador usados en las matrices.

Identificador	Paradas
1	Colegio Vicente Rocafuerte
2	Federación
3	Santa Ana
4	Esmeraldas
5	Circunvalación Sur
6	Plaza Centenario
7	Gabriel José de Luque
8	Riobamba
9	Luis Urdaneta

**Tabla 3-2 Paradas asignadas [Fuente: Elaboración propia]**

Una vez definidas las distancias entre paradas se procedió a utilizar la fórmula de velocidad promedio  $v$  ecuación 3.1 para calcular el tiempo de viaje entre paradas y construir la matriz de tiempos que se utilizará en la metaheurística para obtener un tiempo de ciclo mínimo.

Siendo  $v$  la velocidad promedio  $km/min$ ,  $x$  la distancia  $km$  y  $t$  el tiempo  $min$

$$v = \frac{x}{t} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Despejando el tiempo  $t$  de la ecuación 3.2:

$$t = \frac{x}{v} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Y definiendo una velocidad promedio de viaje de  $35 \text{ km/h}$  estipulada en el reglamento de ley de transporte terrestre (Delgado, 2016). Realizamos una conversión de dicha velocidad para obtener las unidades en  $\text{km}/\text{min}$ . Es decir, la velocidad promedio de viaje es de  $0.58 \text{ km}/\text{min}$ .

En la **tabla 3-3** se observa la matriz con los tiempos de viaje en minutos.

Tiempos [min]	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,00	0,69	1,46	0,69	2,06	4,29	1,60	3,60	3,09
2	0,53	0,00	0,77	1,04	1,46	4,06	1,55	2,74	3,43
3	1,39	2,38	0,00	2,19	0,72	2,79	1,08	2,06	2,57
4	0,72	0,61	1,32	0,00	2,04	4,10	1,90	3,36	3,00
5	1,89	2,90	1,02	2,61	0,00	2,07	1,58	1,29	2,04
6	2,43	2,16	1,69	1,97	1,77	0,00	0,84	1,53	1,01
7	0,80	1,29	0,84	1,13	1,57	2,55	0,00	2,86	1,95
8	2,91	3,53	2,19	3,39	1,55	1,32	2,23	0,00	0,60
9	2,43	2,88	1,54	2,69	1,63	0,69	1,54	1,46	0,00

**Tabla 3-3 Matriz de tiempos de viaje entre paradas [Fuente: Elaboración propia]**

### 3.3 Implementación del modelo matemático

Para el desarrollo del algoritmo se tomaron los datos de los tiempos detallados en la **Tabla 3-3**. Además, se definieron los valores de los siguientes parámetros

Sea

- $B$  Número de buses alimentadores asignados a la ruta
- $t_a$  Tiempo que el bus permanece inmóvil antes de ubicarse en la parada inicial [min]
- $t_n$  Tiempo promedio de retraso por desaceleración y aceleración en las paradas [min]
- $t_q$  Tiempo total de embarque y desembarque de pasajeros en las paradas a lo largo de un ciclo

$$t_a = 5 \text{ min}$$

$$t_n = 1 \text{ min}$$



$$t_q = 4.5 \text{ min}$$

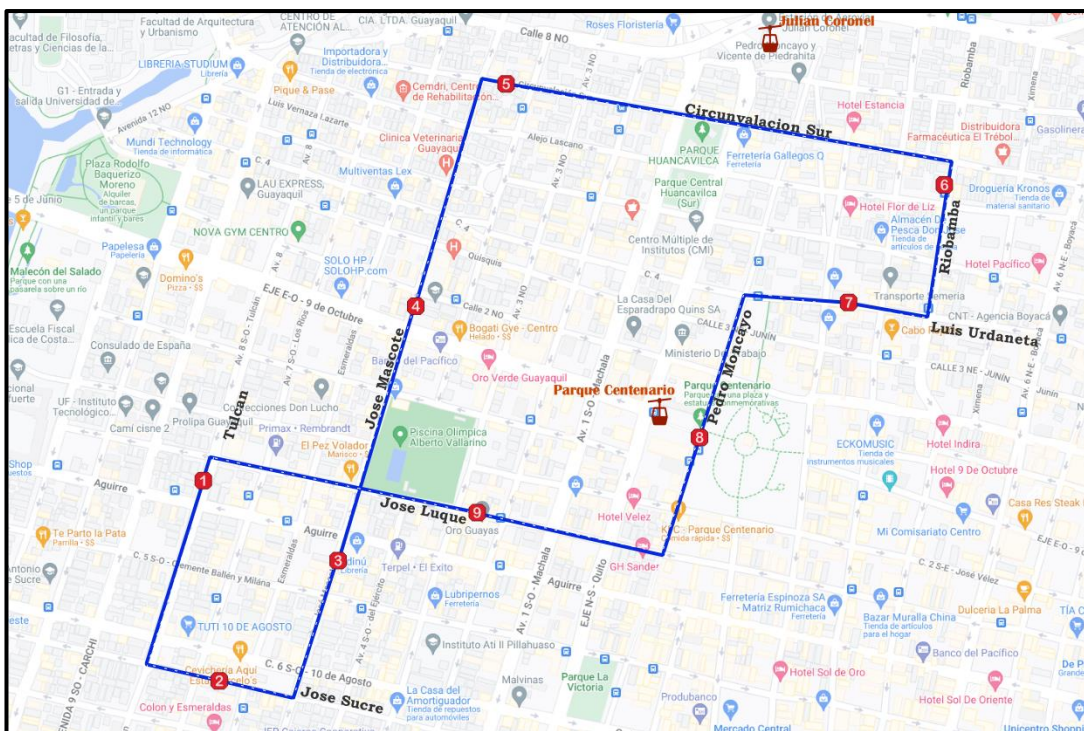
$$B = 3$$

El resultado de ejecutar el algoritmo fue la matriz que se muestra en la **Tabla 3-4** con un tiempo de ciclo de  $17.51 \text{ min}$  y frecuencia de  $0.17 \text{ veh}/\text{min}$ , es decir que pasará un bus cada  $6 \text{ min}$ .

Paradas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0	0	1	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	1	0	0	0

**Tabla 3-4 Resultado de la ruta [Fuente: Elaboración propia]**

A continuación, se presenta en la **Figura 3-21** la ruta obtenida a través del algoritmo considerando los sentidos de vías:



**Figura 3-21 Ruta Alimentador (AF1) [Fuente: Elaboración propia]**

### 3.3.1 Resultado

El recorrido empieza en la Parada Colegio Vicente Rocafuerte Norte - Sur. Continúa por el carril exclusivo de Metrovía hacia la parada contigua que es Esmeraldas, por las vías exclusivas de la calle José de Sucre.

Llega a la intersección con José Mascote hacia la parada Federación y consecutivamente a la parada Santa Ana Sur - Norte.

Luego se encamina a Circunvalación Sur usando el puente de esta calle.

En la intersección con Riobamba gira y se posiciona en el paradero establecido.

Avanza hasta Luis Urdaneta, gira y toma esta vía hasta la intersección con Pedro Moncayo.

En Pedro Moncayo se integra a la estación de Aerovía Parque Centenario con la parada Plaza del Centenario. Si todos los usuarios del bus se dirigen a Durán, esta parada es su destino final.

Para completar el ciclo del recorrido, el bus prosigue en Pedro Moncayo hasta llegar a Gabriel José de Luque. En esta calle realiza una parada en el paradero fijado y termina volviendo a la parada inicial establecida que fue la del Colegio Vicente Rocafuerte.

El tiempo de ciclo de la ruta fue de 17.51 minutos. Menor al tiempo de ciclo promedio de la ruta alimentadora Centro de 20.25 minutos.

Si comparamos la ruta con los otros posibles medios podemos encontrar un medio competitivo para la movilización a Durán.

Un estudiante del Colegio Vicente Rocafuerte que desea usar el bus alimentador para llegar al malecón de Durán avanzaría hasta la parada de Metrovía con su mismo nombre. El tiempo de viaje hasta la estación del Parque Centenario es de 15.87 min, luego deberá hacer uso de Aerovía. El tiempo de viaje es de aproximadamente 17 min dando como resultado un viaje de 32.87 min en total.

Si el mismo estudiante desea tomar un bus intercantonal, una alternativa es avanzar a puerta 10 y luego tomar dicho bus. El tiempo de viaje en un bus urbano hasta puerta 10 es de aproximadamente 11 min como se muestra en la **Figura 3-22** y desde ese punto al malecón de Durán es

de aproximadamente 32 min. El total de tiempo empleando fue de 43 min.

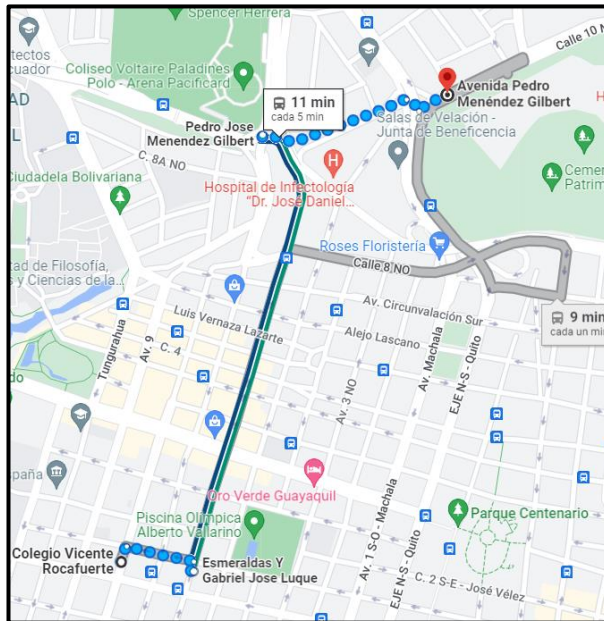


Figura 3-22 Tiempo de viaje en bus [Fuente: Google Maps]

Si por último el estudiante se decanta por tomar taxi ruta, deberá avanzar hasta el parque centenario, no se encuentra a una distancia muy lejana entonces lo puede hacer caminando. El tiempo de caminata es de 13 minutos señalado en la **Figura 3-23**. En el parque puede tomar el taxi ruta que tiene un tiempo promedio de viaje de 28 minutos dando un tiempo total de viaje de 41 minutos.

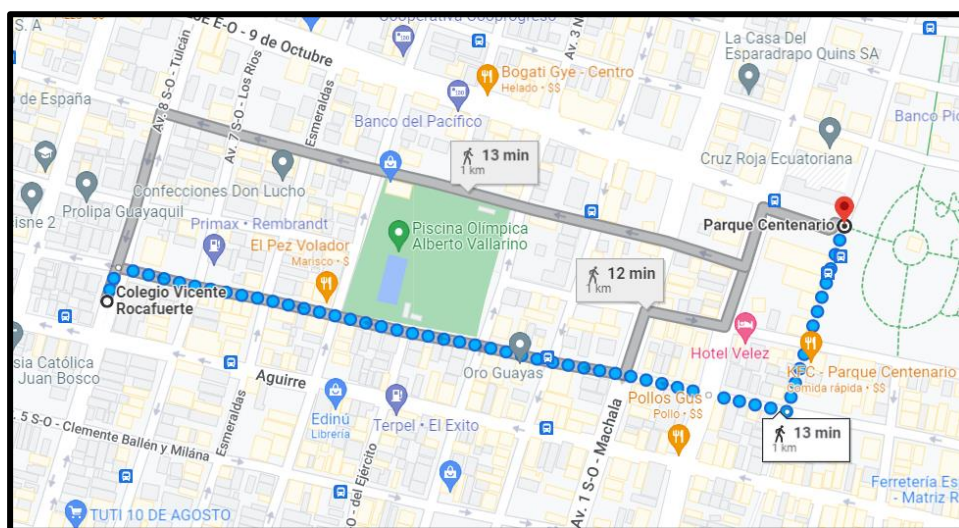


Figura 3-23 Tiempo de caminata [Google Maps]

En el primer caso, se obtuvo una diferencia de algo más de 10 minutos entre los tiempos de viaje de ambos sistemas, beneficiando a la ruta alimentadora planteada.

De manera similar con taxi ruta, se obtuvo una diferencia de aproximadamente más de 8 minutos, beneficiando a la ruta alimentadora propuesta.

### **3.4 Sectores alternos**

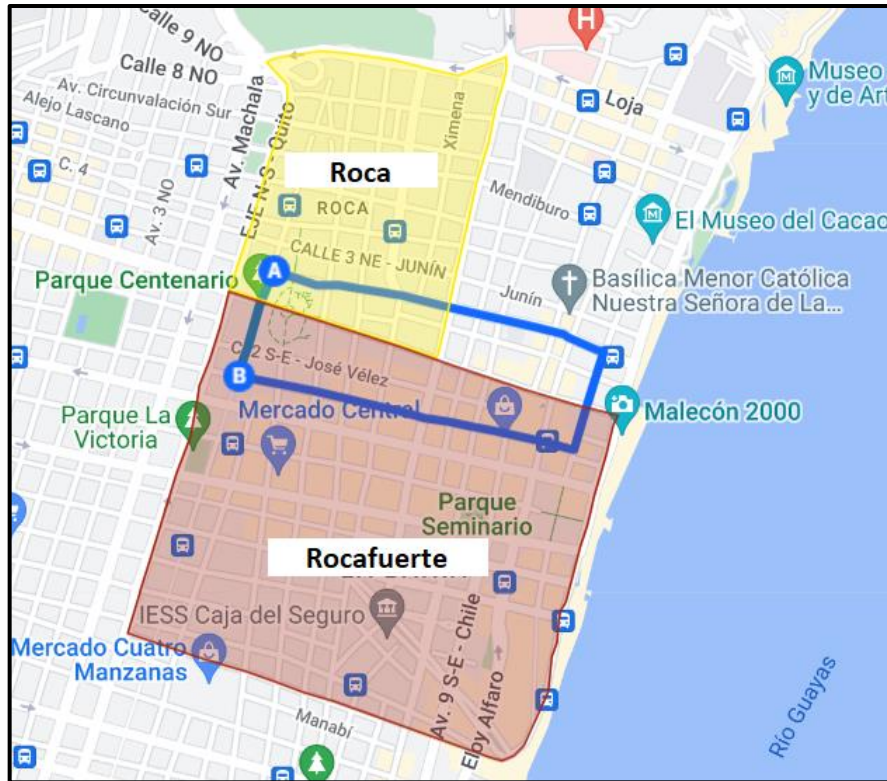
Dentro del análisis realizado, no se consideraron algunos sectores que se encuentran dentro de la zona de estudio y no precisamente porque son puntos con alta movilización de vehículos o poca actividad comercial, sino que se consideraron otros factores detallados de los siguientes sectores a continuación:

#### **Roca y Rocafuerte**

Fue importante considerar los destinos más frecuentes de las personas que utilizan el sistema Aerovía, por eso se han establecido 3 paraderos en estas dos delimitaciones. Sin embargo, gran parte de Rocafuerte queda sin ser atendida por la ruta.

Como se estudió en el análisis de la subzona Este, en esta zona se presencia la ruta alimentadora Centro como lo indica la **Figura 3-24**.

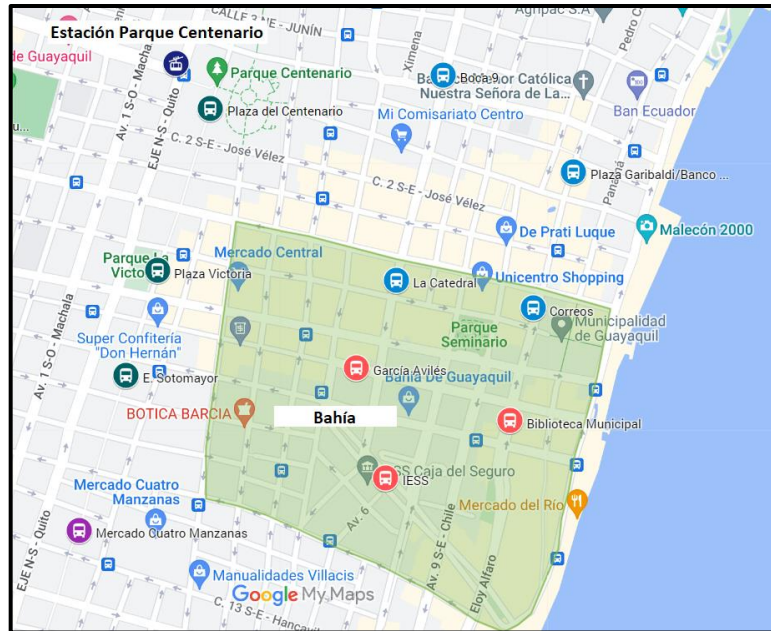
Este bus alimenta a la parada Plaza Centenario que es parte del conjunto de paraderos de esta propuesta. Por lo tanto, se concluyó poco efectivo el volver a recorrer sectores y calles que ya están siendo atendidas por otro alimentador.



**Figura 3-24 Comparación de sectores y ruta alimentador 'Centro' [Fuente: Elaboración propia]**

### **Bahía**

Como se muestra en la **Figura 3-25**, en el sector Bahía se encuentran 5 paraderos de la Metrovía las cuales conectan con las troncales 1 y 3. La actividad comercial en esta zona genera una gran demanda de personas y por consiguiente, gran movimiento vehicular, tanto que la mayoría de los visitantes se desplazan más rápido caminando que utilizando vehículos particulares. Las rutas de las troncales más los recorridos de los buses urbanos y vehículos particulares crean un área muy ajustada para la rápida movilización, razón por la que se evitó sobrecargar la zona añadiendo otro recorrido.

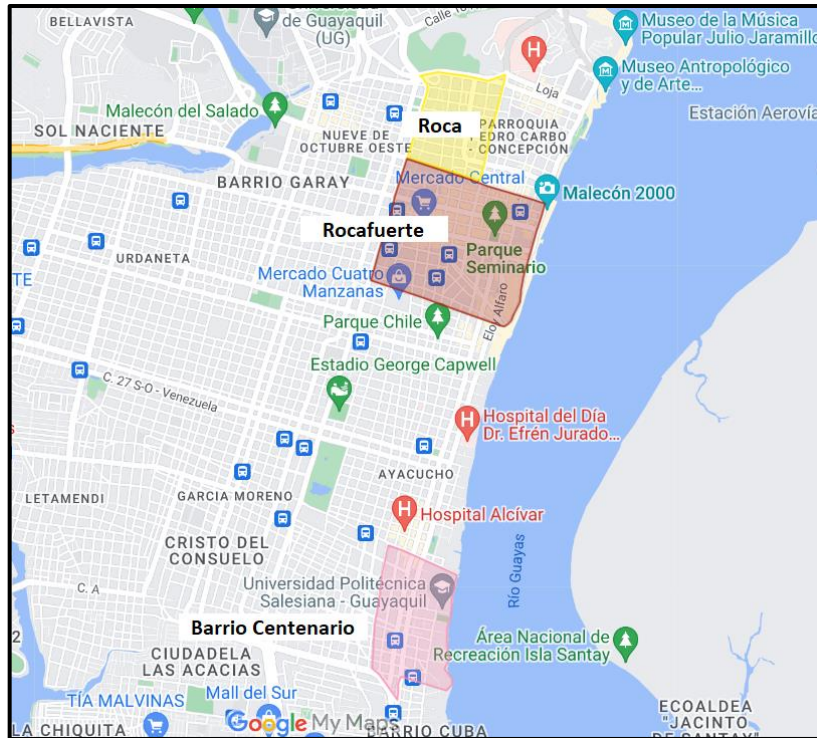


**Figura 3-25 Paraderos existentes en sector Bahía [Fuente: Elaboración propia]**

Además, se tuvo como antecedente la ruta Bahía - Las Peñas indicada en la **Figura 2-8** Peñas que no registró cifras favorables de demanda por lo cual no se consideró añadir un paradero en las calles que fueron parte de este recorrido.

### **Barrio Centenerio**

La parroquia del barrio Centenario no es parte de la zona de estudio. Este sector se encuentra alejado del centro de Guayaquil y por esta razón no fue incluido en para análisis de posibles paraderos. Sin embargo, en esta zona se encuentran paradas integradas a la troncal 1 de la Metrovía. Entonces la ruta puede abarcar este sector a través de trasbordos. En la **Figura 3-26** se observa la ubicación del barrio centenario en comparación con otros sectores.

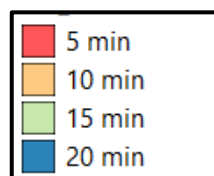


**Figura 3-26 Comparación entre sectores de Roca, Rocafuerte y Centenario**  
**[Fuente: Elaboración propia]**

### 3.5 Accesibilidad de paraderos

Se obtuvo un total de la población servida por paraderos asignados en la ruta alimentador mediante la creación de isócronas.

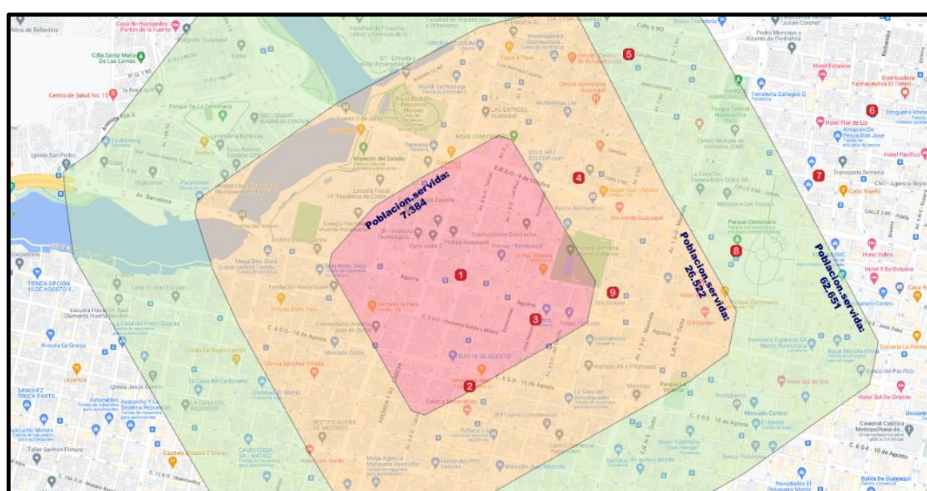
Se utilizó una escala en minutos detallada en la **Figura 3-27** correspondiente a la caminata del peatón con respecto a cada paradero. Se estableció esta escala debido a los resultados de una encuesta que realizó la Cámara de Comercio de Bogotá donde se indicó que más del 60% de los usuarios acceden a caminar de 0 a 10 minutos (DATEXCO, 2013). Sin embargo, se adiciona a la escala 15 y 20 minutos para observar la accesibilidad para el usuario.



**Figura 3-27 Escala de tiempos de caminata [Fuente: Elaboración propia]**

### Parada Colegio Vicente Rocafuerte (1)

Se observa en la **Figura 3-28** con respecto al paradero 1 que cubre una población de 7.384 a 5 minutos de caminata para el usuario. En este caso se cubre gran parte de los puntos estratégicos. Es decir, con aproximadamente 5 minutos de caminata se tiene accesibilidad al paradero desde varios lugares con mayor demanda de usuarios. Por ejemplo, el Colegio Vicente Rocafuerte, consulado de España, Malecón del Salado, Plaza Rodolfo Baquerizo Moreno, etc. Mientras que a 10 y 15 minutos se abarca varios lugares estratégicos que aumenta la demanda de usuarios tales como restaurantes, locales comerciales, bancos, academias, clínicas, etc.

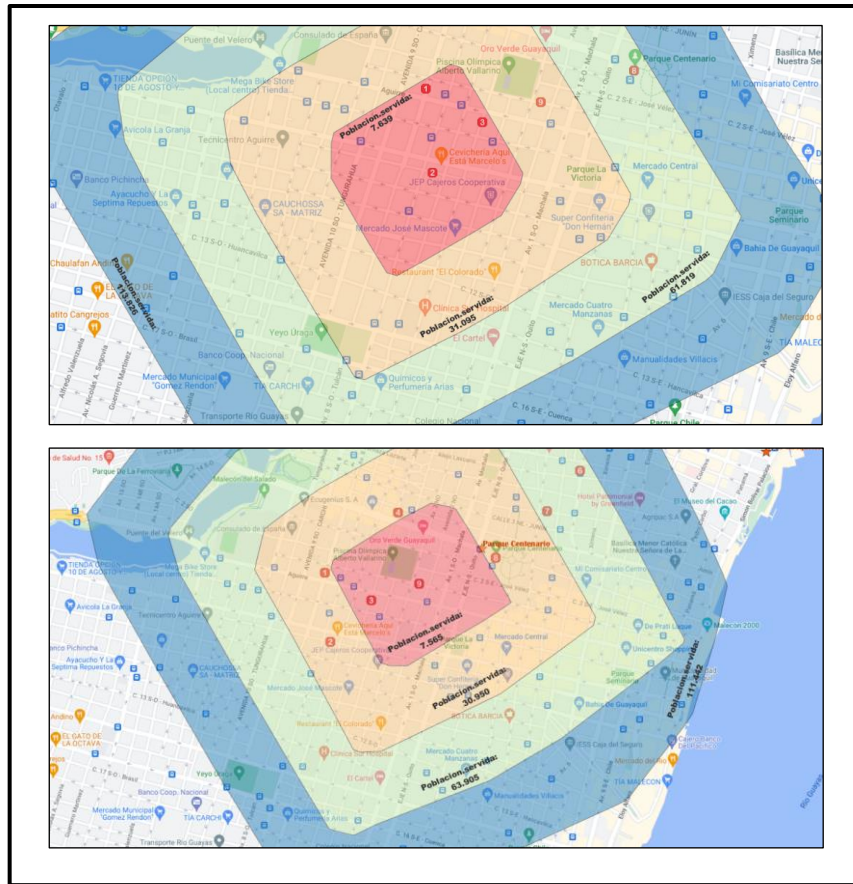


**Figura 3-28 Isócrona de la Parada Vicente Rocafuerte [Fuente: Elaboración propia]**

### Parada Calle Esmeraldas (2) y José de Luque (9)

Se observa en la **Figura 3-29** a los 5 minutos de caminata alrededor de la parada 2 y 9 abarca una población aproximada de 7 mil usuarios justificando los diferentes puntos estratégicos como restaurantes, hoteles, banco, mercado, etc. Mientras que a 10, 15 y 20 minutos rodea una población aproximada de 100 mil cubriendo los centros comerciales, hoteles, parques, restaurantes y una de las paradas de la Aerovía.

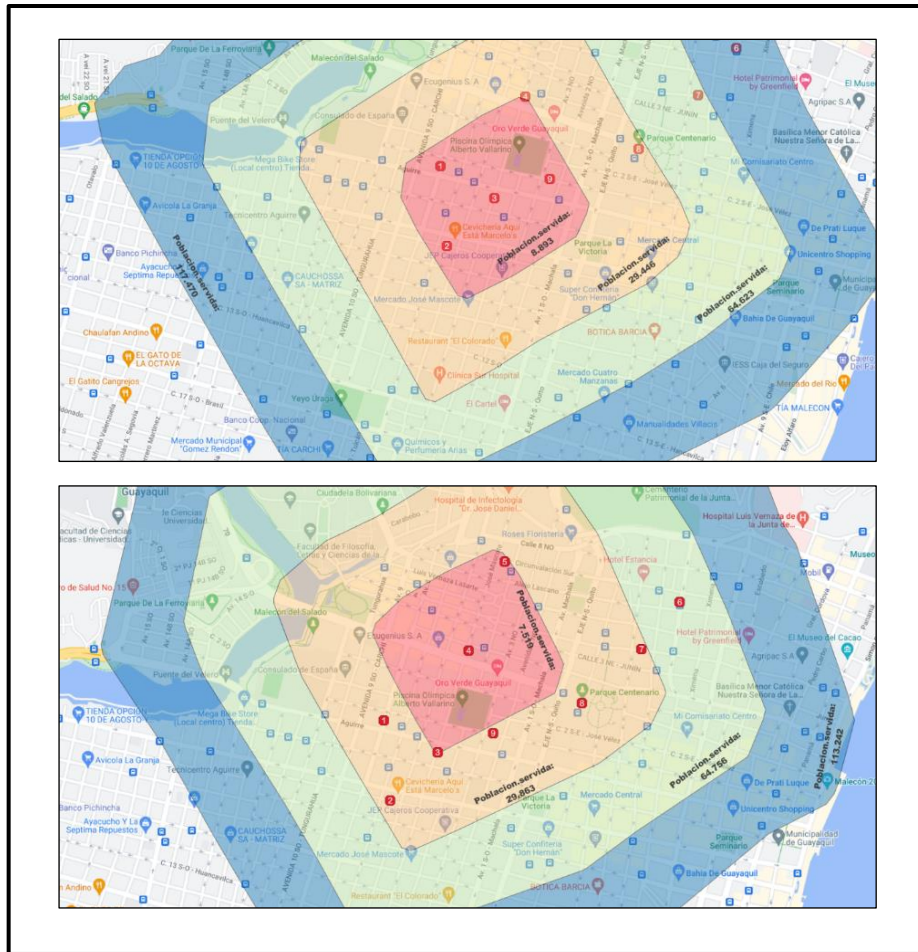




**Figura 3-29 Isócronas de las Paradas Esmeralda y José de Luque [Fuente: Elaboración propia]**

### **Parada Federación (3) y Colegio Santa Ana (4)**

Como se muestra en la **Figura 3-30** a 5 minutos de caminata con respecto a la parada 3 abarca una población aproximada de 8.893 y una población de 7.519 para la parada 4. Es decir, para ambos paraderos se cubre una demanda aproximada de 8 mil usuarios por los diferentes puntos estratégicos alrededor de las paradas mencionadas: piscina olímpica, hoteles, restaurantes, academias, etc. Mientras que a 10, 15 y 20 minutos se cubre una demanda aproximada de 100 mil usuarios de los cuales cubre gran parte de los puntos estratégicos verificados en el análisis anterior tales como locales comerciales, restaurantes, parques, clínicas, mercados, etc.



**Figura 3-30 Isócronas de las Paradas Federación y Colegio Santa Ana [Fuente: Elaboración propia]**

### **Parada Circunvalación Sur (5)**

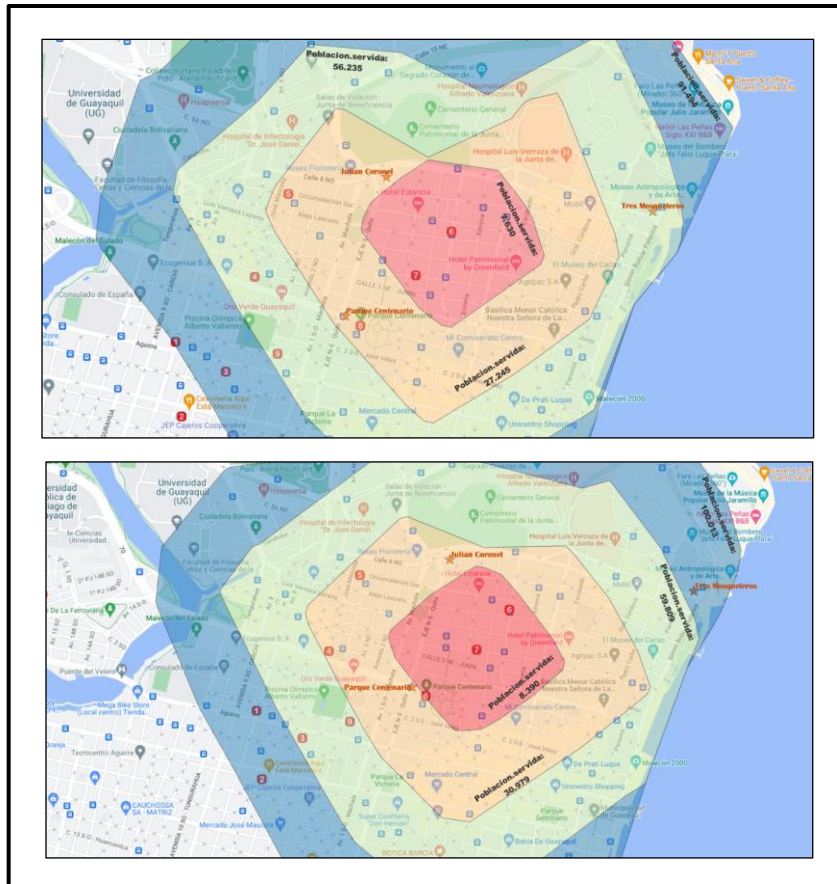
En la **Figura 3-31** se cubre gran parte del norte del sector centro de la ciudad abarcando 7.260 usuarios a 5 minutos de caminata. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, para cubrir la caminata de 10, 15 y 20 minutos, ciertos sectores no pueden ser abarcados porque es difícil la caminata por las calles principales donde hay gran afluencia de vehículos y no existe caminos peatonales para llegar de esa forma a la parada. Para el sector sur y oeste de la isócrona si existe accesibilidad de caminata por lo que se puede justificar los puntos estratégicos de ese sector como restaurantes, iglesias, mercados, parques, hoteles, centros comerciales, etc.



**Figura 3-31 Isócrona de la Parada Circunvalación Sur [Fuente: Elaboración propia]**

### **Parada Riobamba (6) y Luis Urdaneta (7)**

En la **Figura 3-32** se tienen a los paraderos 6 y 7 que los rodean a aproximadamente 8 y 7 mil usuarios a 5 minutos de caminata alrededor de la parada. Justificando los diferentes puntos estratégicos como hoteles, parques, restaurantes, farmacias. Mientras que a 10 y 15 minutos podemos observar que abarca varios puntos importantes como alta demanda de usuarios como, por ejemplo, el Hospital Luis Vernaza, Cementerio Junta de Beneficencia, Malecón 2000, Municipalidad de Guayaquil, Bahía, etc. Además, se deslumbra que en ese intervalo de tiempo de caminata están los paraderos de la Aerovía los cuales se encuentran en la Plaza Centenario, Julián Coronel y Tres mosqueteros.



**Figura 3-32 Isócronas de las Paradas Riobamba y Luis Urdaneta [Fuente: Elaboración propia]**

### **Parada Plaza Centenario (8)**

Se percibe en la **Figura 3-33** que a 5 minutos de caminata existe una población servida de 4.579. Incluso se puede notar que hay una conexión de menos de 5 minutos de caminata entre la parada de la Metrovía y Aerovía. Además, se observa que cubre ciertos puntos estratégicos como el parque, restaurantes, clínicas, bancos, etc. Mientras que a 10, 15 y 20 minutos se visualiza que abarca aproximadamente 100 mil usuarios correspondientes a los puntos estratégicos con alta demanda de usuarios. Por ejemplo, la caja del seguro IESS, Municipalidad de Guayaquil, hospitales, clínicas, cementerio general, etc.



Figura 3-33 Isócrona de la Parada Plaza Centenario [Fuente: Elaboración propia]

### 3.6 Accesibilidad de la ruta

De la misma forma, se estableció la escala de la **Figura 3-34** debido a los resultados de la encuesta que realizó la Cámara de Comercio de Bogotá (DATEXCO, 2013).

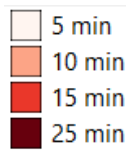
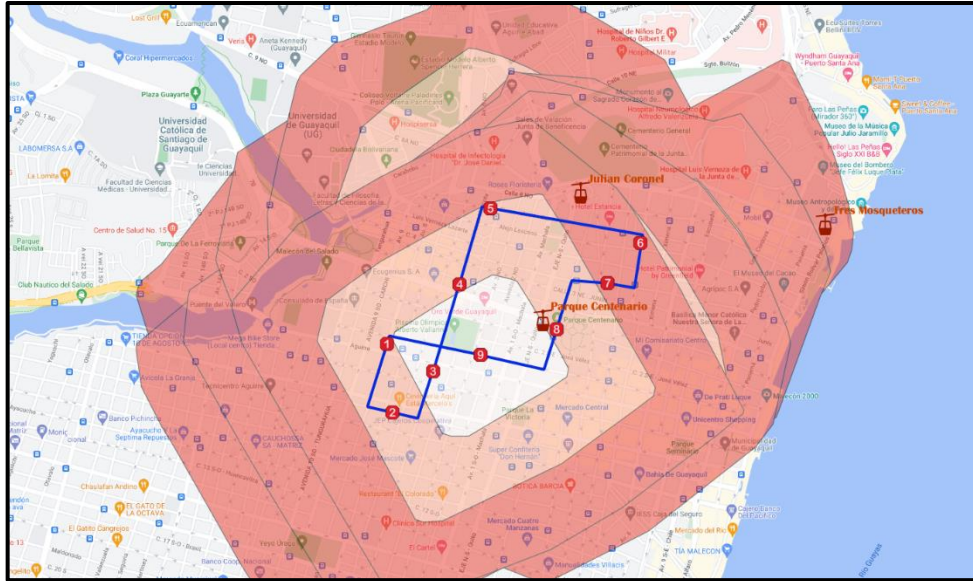


Figura 3-34 Escala de Tiempo de Caminata [Fuente: Elaboración propia]

Se observó que la ruta está abarcando a la mayor parte del sector centro de la ciudad con solo la caminata de usuarios en intervalos de tiempo entre 5, 10, 15 y máximo 20 minutos para llegar a un paradero. Se puede notar que a 10 minutos puede hasta tener accesibilidad los usuarios de la Universidad Guayaquil a un paradero de la ruta alimentadora.



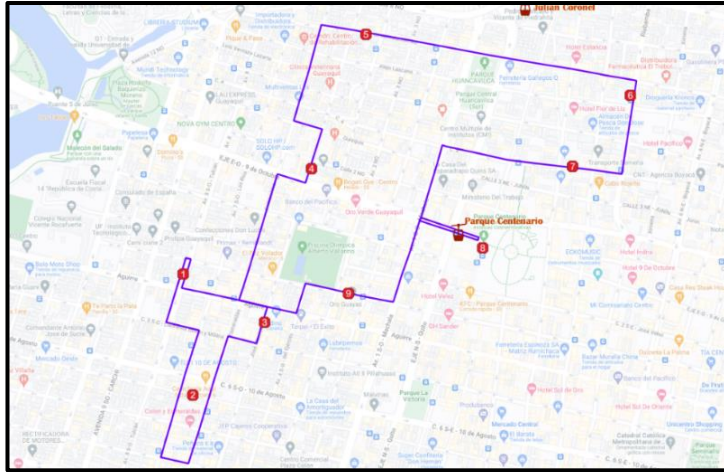
**Figura 3-35 Isócrona de la Ruta Factible [Fuente: Elaboración propia]**

### 3.7 Simulación de rutas alternas

Para simular las rutas que se muestran a continuación se utilizó el software QGIS, de esta forma se generaron dos posibles rutas ejecutando la herramienta ORS Tools utilizando el método de Traveling Salesman para obtener la ruta 'fastest'.

#### 3.7.1 Ruta 2

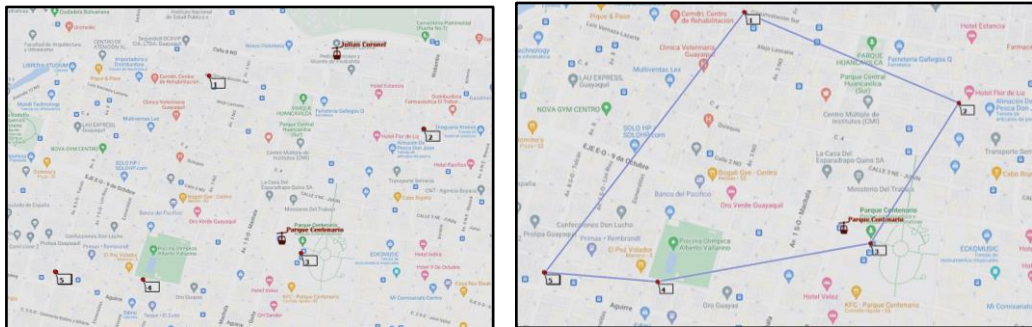
Para obtener la ruta 2 se utilizaron los 9 paraderos previamente designados para generar una posible ruta. A través de la ruta obtenida de la **Figura 3-36** se consiguió un tiempo de ciclo de 13,56 minutos a una distancia de 5,31 km. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el software no consideró un análisis previo de las calles del sector para reducir congestión vehicular y aprovechar ciertas calles con exclusividad de transporte público. De hecho, podemos notar en la misma gráfica que evitó las calles exclusivas de Metrovía debido a que está restringido el uso de estas.



**Figura 3-36 Simulación de Ruta 2 [Fuente: Elaboración propia]**

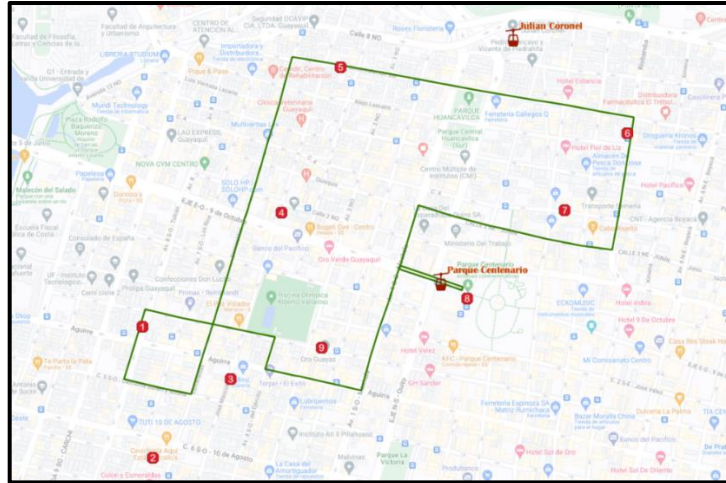
### 3.7.2 Ruta 3

Para obtener la ruta 3 se utilizaron 5 puntos como se muestra en la **Figura 3-37** los cuales fueron asignados alrededor de la ruta 1 planteada para obtener una nueva posible ruta.



**Figura 3-37 Puntos para generar Ruta 3 [Fuente: Elaboración propia]**

Una vez ejecutada la herramienta se obtuvo la ruta de la **Figura 3-38** con un tiempo de ciclo de 9,66 minutos y una distancia de 4,34 km. Se procedió a realizar una comparación entre los puntos establecidos y los paraderos designados en la ruta 1, pudimos notar en la **Figura 3-38** que la ruta obtenida no satisface todos los 9 paraderos antes mencionados ya que esta ruta considera otras calles que se habían analizado previamente con un alto nivel de congestión vehicular, además no considera las calles con exclusividad de transporte público, es decir, las calles exclusivas de Metrovía.



**Figura 3-38 Simulación de Ruta 3 [Fuente: Elaboración propia]**

### 3.7.3 Comparación entre rutas

En la **Figura 3-39** se observa las diferentes rutas generadas. De las 3 rutas 2 fueron generadas a través del software QGIS y 1 ruta se diseñó a través de la metaheurística de recocido simulado. Podemos observar que la ruta 2 y 3 no considera un análisis previo de la congestión incluso no toma en cuenta los carriles de uso exclusivo de Metrovía por lo que se observa que la ruta pasa por calles que tienen mayor congestión vehicular como por ejemplo Esmeraldas, Machala, Aguirre. En estas calles incluso circulan varias líneas de transporte urbano por lo que aumenta la congestión vehicular en horas pico. Es decir, no sería factible la implementación de estas rutas ya que el tiempo de ciclo será mayor debido al uso de estas calles. Por otro lado, observamos la ruta 1 que se generó a través de las calles con menor congestión vehicular y carriles exclusivos de Metrovía para evitar el tráfico en horas pico por lo que su tiempo de ciclo no tendrá gran variación.



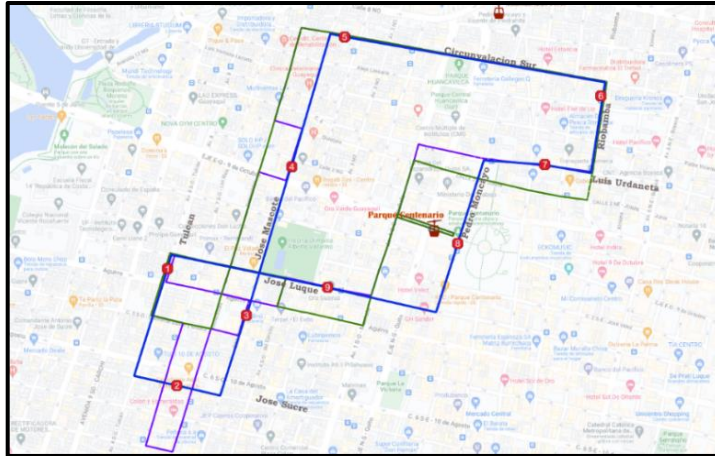


Figura 3-39 Comparación entre Ruta Simulada [Fuente: Elaboración propia]

Ruta 1	Azul
Ruta 2	Morado
Ruta 3	Verde

Tabla 3-5 [Fuente: Elaboración propia]

### 3.8 Integración entre Troncales, Aerovía y Alimentador

Se presenta la integración entre troncales y Aerovía por la ruta alimentadora en la **Figura 3-40** y las diferentes líneas de Metrovía que se logran integrar con la ruta planteada.

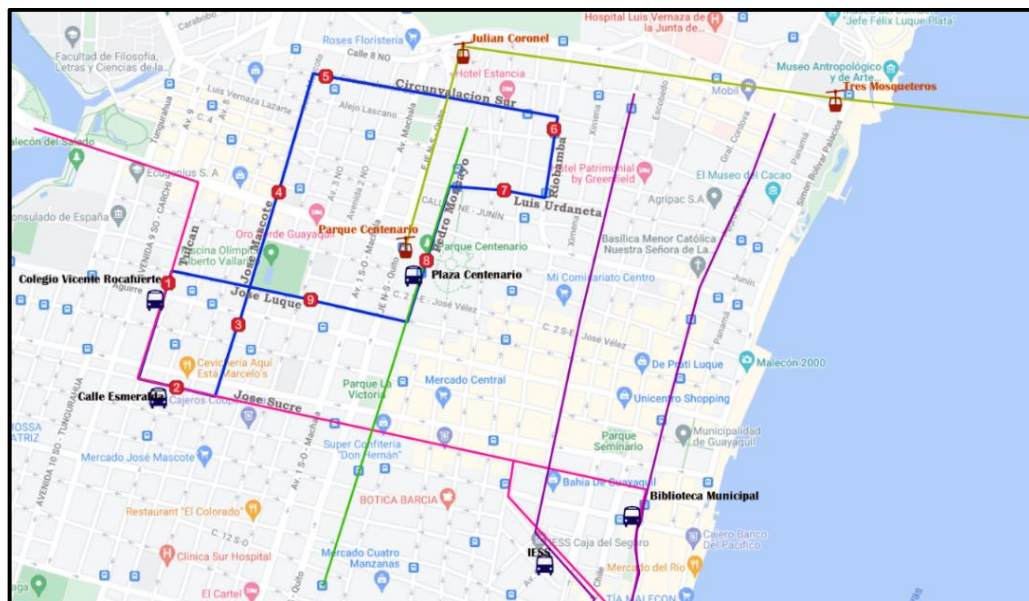


Figura 3-40 Integración entre Troncales, Aerovía y Alimentador [Fuente: Elaboración propia]

En la siguiente tabla, se detalla las rutas de la **Figura 3-40**:

<b>Rutas</b>	<b>Nombre</b>	<b>Color</b>
<b>Troncal 3</b>	Bastión Popular	Rosa
<b>Troncal 2</b>	Guasmo – Río Daule	Morado
<b>Troncal 1</b>	25 de Julio – Río Daule	Verde
<b>Aerovía</b>	Parque Centenario - Durán	Amarillo
<b>Alimentador</b>	AF1	Azul

**Tabla 3-6 Ruta de cada Troncal [Fuente: Elaboración propia]**

De la misma forma, se detalla en la tabla siguiente las paradas que se integran en las diferentes rutas:

<b>Paradas</b>	<b>Integración</b>
Colegio Vicente Rocafuerte	Troncal 3 – Alimentador
Calle Esmeraldas	Troncal 3 – Alimentador
Plaza Centenario	Troncal 1 – Alimentador – Aerovía
Biblioteca Municipal	Troncal 3 – Troncal 2
IESS	Troncal 2 – Troncal 3

**Tabla 3-7 Integración entre rutas [Fuente: Elaboración propia]**

### **3.9 Análisis de Costos**

Para el análisis de los costos que se consideró 5 escenarios que son diferenciados por la tarifa adicional que se puede establecer al momento de hacer uso del bus alimentador. Esos valores adicionales se fijaron como \$0.25, \$0.20, \$0.15, \$0.10 y \$0.00.

Para cada escenario se buscó la utilidad o pérdida que se espera obtener en un año. Aquí se incluyen valores resultantes del uso de los usuarios que ya hacen uso del servicio de Aerovía y de los no usuarios.

La demanda de no usuarios fue estimada de acuerdo con datos de personas que viajan de Durán a Guayaquil diariamente por transporte público y de personas que viven en Durán, tienen vehículo y se transportan a Guayaquil. Esta última cifra fue estimada gracias a una encuesta de preferencias declaradas a 442 personas sin ningún tipo de sesgo donde se encontraron proporciones de personas que viajaban entre los dos cantones y están dispuestas a utilizar un bus alimentador para disminuir su brecha de traslado.

NÚMERO DE PERSONAS TOTAL VÁLIDAS	226	
PERSONAS EN DURÁN	80	
PERSONAS EN DURÁN (EXCLUYENDO A SURESTE GYE)	54	
PERSONAS EN DURÁN QUE SÍ USARÍAN EL SERVICIO	31	
PERSONAS EN DURÁN QUE USARÍAN EL SERVICIO POR 0,25 CTVOS	10	
PERSONAS EN DURÁN QUE USARÍAN EL SERVICIO POR 0,20 CTVOS	4	
PERSONAS EN DURÁN QUE USARÍAN EL SERVICIO POR 0,15 CTVOS	7	
PERSONAS EN DURÁN QUE USARÍAN EL SERVICIO POR 0,10 CTVOS	5	
PERSONAS EN DURÁN QUE USARÍAN EL SERVICIO GRATUITAMENTE	5	
PERSONAS EN DURÁN QUE SÍ USARÍAN EL SERVICIO	19	
PERSONAS EN DURÁN QUE ACTUALMENTE USAN EL SERVICIO	4	
PERSONAS EN DURÁN CON VEHICULO PROPIO (IDA Y VUELTA)	16	
PERSONAS EN DURÁN CON VEHICULO PROPIO (IDA)	16	
PORCENTAJE DE PERSONAS CON VEHÍCULO	20%	
POBLACIÓN ESTIMADA GUAYAQUIL	2700000	
VEHICULOS GUAYAQUIL	385714,2857	
POBLACIÓN ESTIMADA DURÁN	300488	
PEA ESTIMADA DE DURÁN	52,40%	
PEA DURÁN	157456	
NUMERO DE VEHICULOS DURÁN	31491	
MERCADO OBJETIVO (BUS + VEH. PROPIO)		
PERSONAS EN BUS	60000	USUARIOS POR DÍA
VEHÍCULOS DURÁN	31491	USUARIOS POR DÍA
TOTAL MERCADO OBJETIVO	91491	USUARIOS POR DÍA
PERSONAS EN DURÁN QUE SÍ USARÍAN EL SERVICIO	39%	
PERSONAS EN DURÁN QUE ACTUALMENTE USAN AEROVÍA	5%	
MERCATO META	35453	USUARIOS POR DÍA

**Figura 3-41 Resultados de las encuestas aplicadas**

**[Fuente: Elaboración propia]**

Como se observa en la **Figura 3-41**, el resultado de esta demanda objetivo es de 35.453 usuarios por día de nuevos clientes. De estos pasajeros se particionó según el tipo de tarifa que pagarían al momento de usar el servicio de Aerovía: preferencial u ordinaria. El porcentaje de personas que utiliza una tarifa ordinaria es del 77.9%, mientras que el de personas que utiliza tarifa preferencial es del 22.1% según la demanda estudiada de Aerovía. En la Figura 3-42 se observa la partición por tipo de tarifa y la cantidad de usuarios que usarían el bus alimentador aplicando los valores adicionales a la tarifa que ya pagan.

	USD 0,25	USD 0,20	USD 0,15	USD 0,10	USD 0,00
<b>TARIFA ORDINARIA</b>	8912,195185	3564,878074	6238,536629	4456,097592	27627,80507
	0,95	0,9	0,85	0,8	0,7
	365	365	365	365	365
<b>TARIFA ESPECIAL</b>	2524,197615	1262,098808	1766,938331	1262,098808	7825,012607
	0,45	0,45	0,4	0,4	0,35
	365	365	365	365	365

**Figura 3-42 Cantidad de usuarios que tomarían el servicio del bus por tarifa agregada [Fuente: Elaboración propia]**

En cuanto a los usuarios regulares de Aerovía se determinó que la cantidad de usuarios que tomarían el bus alimentador es del 75%. Este porcentaje de fijó porque no todo usuario de Aerovía va a hacer uso del servicio del bus y de la misma manera, se los particionó en usuarios que ingresan a través de tarifa ordinaria y tarifa preferencial. En la **Figura 3-43** se muestran los valores aplicados a los porcentajes mencionados.

PROYECCIÓN	CANT. REAL
4700,25	6267
1331,25	1775

**Figura 3-43 Proyección de usuarios de Aerovía que tomarían el bus [Fuente: Elaboración propia]**

Sumada a los ingresos por el uso del servicio se asentaron los egresos por la naturaleza operativa del servicio: el recurso humano, mantenimiento de maquinaria, combustible, etc. También se incluyó una depreciación a 5 años de la inversión de los buses.

ANÁLISIS FINANCIERO	USD 0,25	USD 0,20	USD 0,15	USD 0,10	USD 0,00
<b>INGRESOS</b>	\$3.844.108,87	\$1.694.560,91	\$2.450.095,49	\$1.668.323,05	\$8.058.549,56
<b>Nuevos clientes</b>					
Ingresos tarifa normal	\$3.090.303,68	\$1.171.062,45	\$1.935.505,99	\$1.301.180,50	\$7.058.904,20
Ingresos tarifa especial	\$414.599,46	\$207.299,73	\$257.973,00	\$184.266,43	\$999.645,36
<b>Antiguos clientes</b>					
Ingresos tarifa normal	\$297.128,00	\$276.974,97	\$224.783,79	\$160.190,75	\$0,00
Ingresos tarifa especial	\$42.077,72	\$39.223,76	\$31.832,71	\$22.685,38	\$0,00
<b>EGRESOS</b>	-\$263.460,00	-\$263.460,00	-\$263.460,00	-\$263.460,00	-\$263.460,00
<b>Costos operativos</b>					
Combustibles	-\$154.416,00	-\$154.416,00	-\$154.416,00	-\$154.416,00	-\$154.416,00
Sueldos y Salarios	-\$43.800,00	-\$43.800,00	-\$43.800,00	-\$43.800,00	-\$43.800,00
Mantenimiento preventivo	-\$61.230,00	-\$61.230,00	-\$61.230,00	-\$61.230,00	-\$61.230,00
Mantenimiento correctivo	-\$32.106,00	-\$32.106,00	-\$32.106,00	-\$32.106,00	-\$32.106,00
<b>Costos Fijos</b>					
Gastos administrativos	-\$17.280,00	-\$17.280,00	-\$17.280,00	-\$17.280,00	-\$17.280,00
Revisión técnica	-\$10.044,00	-\$10.044,00	-\$10.044,00	-\$10.044,00	-\$10.044,00
Obligaciones de tránsito	-\$7.800,00	-\$7.800,00	-\$7.800,00	-\$7.800,00	-\$7.800,00
Depreciación anual	-\$210,00	-\$210,00	-\$210,00	-\$210,00	-\$210,00
	-\$2.034,00	-\$2.034,00	-\$2.034,00	-\$2.034,00	-\$2.034,00
Depreciación anual	-\$99.000,00	-\$99.000,00	-\$99.000,00	-\$99.000,00	-\$99.000,00
<b>INVERSIÓN INICIAL</b>	-\$495.000,00				
<b>UTILIDAD/PÉRDIDA DEL EJERCICIO</b>	\$0,00	\$3.580.648,87	\$1.431.100,91	\$2.186.635,49	\$1.404.863,05
					\$7.795.089,56

**Figura 3-44 Utilidades anuales de acuerdo a la tarifa agregada al uso del servicio del bus [Fuente: Elaboración propia]**

La **Figura 3-44** presenta las utilidades del servicio en los 5 escenarios planteados. En ningún escenario se registraron pérdidas económicas y la ganancia fue proporcional a la cantidad de tarifa añadida que estarían dispuestos a pagar los usuarios.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se detallan las conclusiones y recomendaciones después de haber realizado un análisis e interpretación de los resultados del capítulo anterior.

### 4.1 Conclusiones

- Se levantó información en la zona de estudio de los diferentes parámetros necesarios para obtener las paradas del alimentador tales como el análisis de congestión vehicular, validación de calles con uso exclusivo de Metrovía, puntos estratégicos, comerciales, recreativos, educativos. Además de un análisis previo de la demanda de usuarios del uso de la Aerovía con el fin de obtener los paraderos con mayor accesibilidad. Mediante este levantamiento se obtuvo una comparación entre sistemas de transporte como Aerovía, Taxi ruta, Buses de Duran y un análisis de una ruta alimentadora del centro.
- Se logró identificar los paraderos de Metrovía que cuentan con integración entre otras troncales logrando el uso de estas paradas para generar mayor accesibilidad entre todas las troncales junto con la Aerovía y lograr una conectividad entre otras zonas de la ciudad. Se identificó en total 5 paraderos de Metrovía con integración de los cuales 3 fueron integrados con la ruta planteada logrando una mejor accesibilidad para los usuarios.
- A través de la implementación de la metaheurística de recocido simulado se generó una ruta con un tiempo de viaje mínimo de 17,51 minutos logrando un tiempo menor en comparación con la ruta alimentadora Centro que tiene un tiempo promedio de 20,25 minutos. Teniendo en cuenta que esta ruta planteada integra las troncales de Metrovía y proporciona mayor accesibilidad al usuario, a su vez tiene

una integración con la Aerovía para viajar con menor tiempo hacia Durán.

- Al obtener el diseño final de la ruta alimentadora con los paraderos correspondientes se realizó una evaluación previa mediante el software QGIS para analizar la accesibilidad en la zona a través de la generación de Isócronas identificando que la ruta es accesible a los usuarios con solo caminar entre 5 y 10 minutos hacia los paraderos. De esa forma se logra abarcar gran parte de la zona del centro de la ciudad.

## 4.2 Recomendaciones

Este estudio utilizó todos los recursos que se tuvieron al alcance para su desarrollo. Sin embargo, hubo puntos en la investigación que se pudieron cuantificar de manera más exacta, obteniendo mayores muestras y más variadas. Aquí algunas sugerencias para próximos trabajos:

- Considerar todas las franjas horarias para el levantamiento de información en campo. El proyecto presentado obtuvo los datos de los sistemas que son competencia directa o se encuentran en la zona de estudio en la primera franja de hora pico. Para aumentar la exactitud de los parámetros se recomienda extender la muestra a las franjas de la tarde y noche.
- Cuantificar los niveles de congestionamiento. El análisis de la congestión fue por observación y utilizando la herramienta Google Maps. No existía una base de datos de congestión vehicular en Guayaquil, por lo tanto, las proyecciones hechas no evaluaron los tiempos que el bus pierde por la interacción con el tráfico. Obtener una base de datos al menos con valores promedios en una semana aumentaría la precisión de los modelos semejantes al presentado.
- Unificar el método de pago de ambos sistemas. A pesar de que la parte operativa de la integración fue abordada en este proyecto, los sistemas donde los usuarios pagan para acceder a ambos sistemas

son distintos. Esta diferencia puede ser eliminada de la misma forma como el consorcio estableció acuerdos para integrar los buses urbanos en Durán a sus operaciones.

- Integración a través de infraestructuras. En países con sistemas de transporte mucho más desarrollados que Ecuador, los modos de transportarse son agilizados por la facilidad que los usuarios tienen para ingresar a una parada o hacer un recorrido en bicicleta. Las inversiones en el ámbito inmobiliario para buscar conectar uno o más sistemas son alternativas más costosas pero que apuntan a los países a ser modelos desarrollados en tema de transporte público.



# BIBLIOGRAFÍA

- ATM. (Febrero de 2021). *Vidas Transportadas en sistemas aerosuspendido aerovía*. Guayaquil.
- DATEXCO. (2013). *Medición y análisis de la percepción de los usuarios sobre las condiciones, calidad y servicio del transporte público en Bogotá*. Bogotá: Camara de Comercio Bogotá.
- Delgado, C. (Noviembre de 2016). *Reglamento a la Ley de Transporte Terrestre*. Obtenido de <https://www.correosdelecuador.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/08/REGLAMENTO-A-LA-LEY-DE-TRANSPORTE-TERRESTRE.pdf>
- ECUADOR, C. D. (Agosto de 2008). *Ley Orgánica de Transporte Terrestre tránsito y seguridad vial*. Obtenido de <https://portovial.gob.ec/sitio/descargas/leyes/ley-organica-transporte-terrestre-transito-y-seguridad-vial.pdf>
- Maji, D., & Alban, P. (2021). Aerovía en el transporte urbano: Caracterización de la demanda de la Aerovía como medio de Transporte urbano de pasajeros. 43-45.
- Mannering Fred, W. S. (2005). *Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis*. Florida: John Wiley & Sons, Inc.
- Montoya, G. (Noviembre de 2005). *Universidad Nacional de Ingeniería*. Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/apuntes-ingenieria-de-transito.pdf>
- Ortuzar, J. d. (2015). *Modelos de demanda de transporte*. Bogota: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Sebastian Raveau, J. C. (Abril de 2016). *Análisis de Estrategias de Comportamiento en un Sistema de Transporte Público*. Obtenido de <https://www.estudiosdetransporte.org/sochitran/article/view/149>
- Taha, H. (2011). *Investigación de Operaciones*. Mexico: Pearson Education, Inc.
- Cao, Y., Jiang, D., & Wang, S. (2022). Optimization for Feeder Bus Route Model Design with Station Transfer. *Sustainability (Switzerland)*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/su14052780>

- Iliopoulou, C., Kepaptsoglou, K., & Vlahogianni, E. (2019). Metaheuristics for the transit route network design problem: a review and comparative analysis. *Public Transport*, 11(3), 487–521. <https://doi.org/10.1007/s12469-019-00211-2>
- Jara-Diaz, S. R., & Gschwender, A. (2003). Towards a general microeconomic model for the operation of public transport. *Transport Reviews*, 23(4), 453–469. <https://doi.org/10.1080/0144164032000048922>
- Nayeem, M. A., Islam, M. M., & Yao, X. (2019). Solving Transit Network Design Problem Using Many-Objective Evolutionary Approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(10), 3952–3963. <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2883511>
- Nikolić, M., & Teodorović, D. (2013). Transit network design by Bee Colony Optimization. *Expert Systems with Applications*, 40(15), 5945–5955. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.05.002>
- Yao, B., Cao, Q., Jin, L., Zhang, M., & Zhao, Y. (2017). CIRCLE LINE OPTIMIZATION OF SHUTTLE BUS IN CENTRAL BUSINESS DISTRICT WITHOUT TRANSIT HUB. In *Promet-Traffic&Transportation* (Vol. 29, Issue 1).
- Zheng, M., Zhou, R., Liu, S., Liu, F., & Guo, X. (2020). Route Design Model of Multiple Feeder Bus Service Based on Existing Bus Lines. *Journal of Advanced Transportation*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8853872>

# APÉNDICE

## Paradas de Metrovía validadas en el campo de estudio

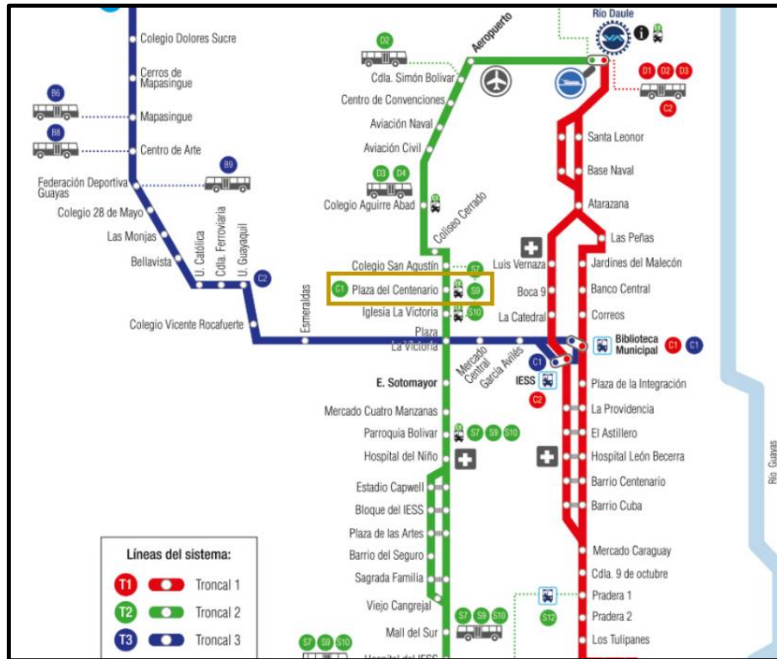


Figura 0-1 Parada de la Plaza del Centenario [Fuente: Metrovía]



Figura 0-2 Parada de Integración entre la Troncal 1 y 3 [Fuente: Metrovía]

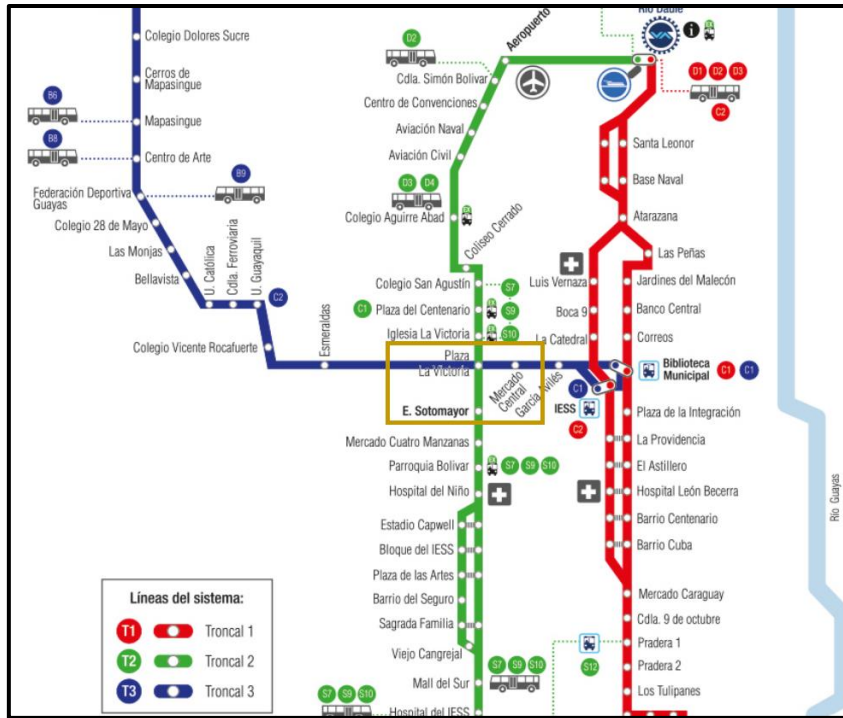
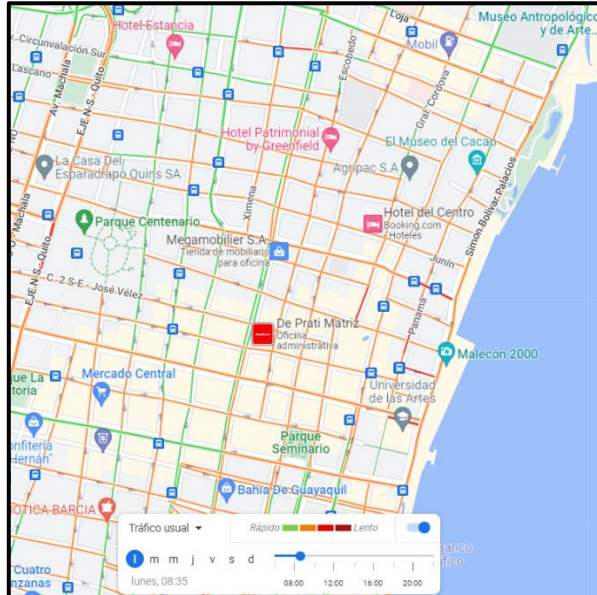


Figura 0-3 Posibles paradas de integración entre la Troncal 3 y 2

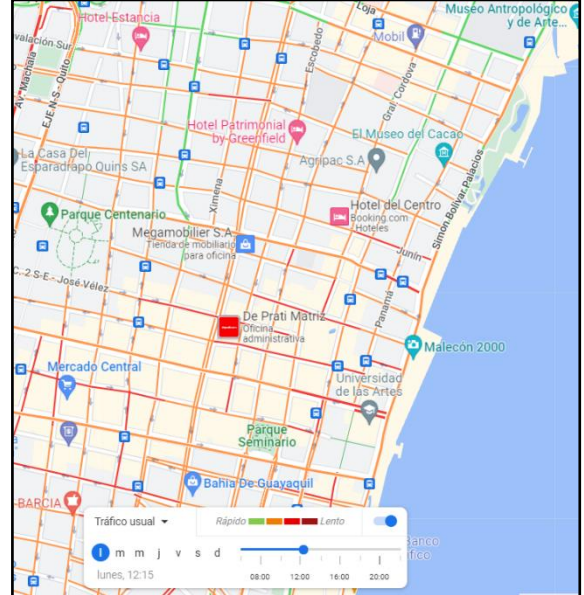
[Fuente: Metrovía]

# Análisis del nivel de tráfico de la Subzona Este

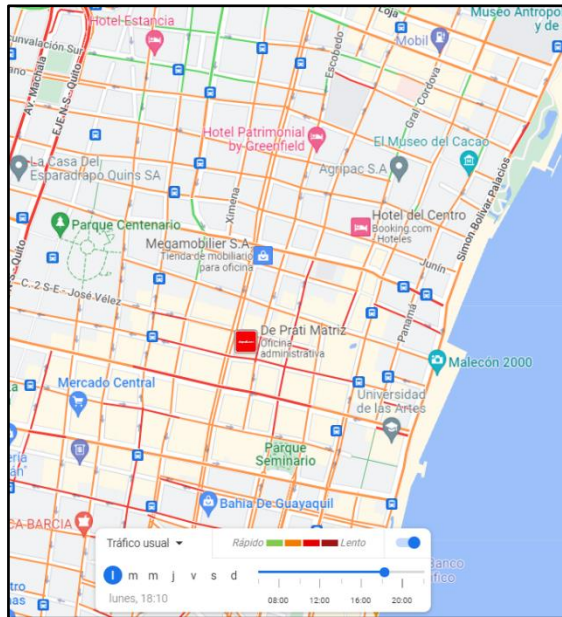
## LUNES



8:35



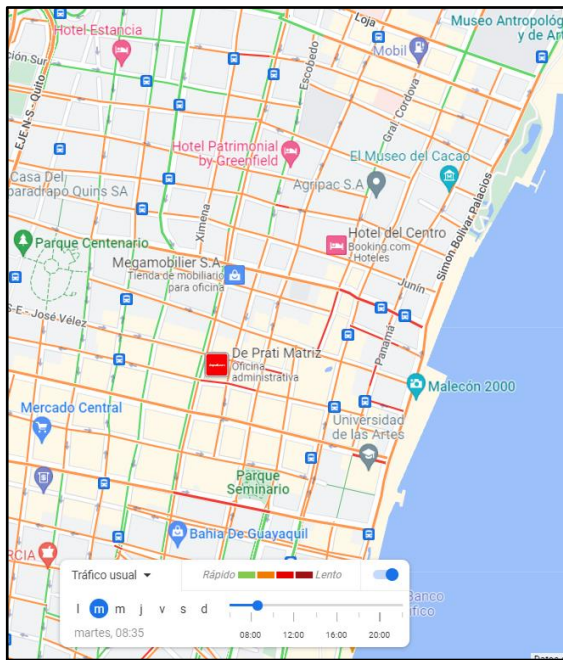
12:15



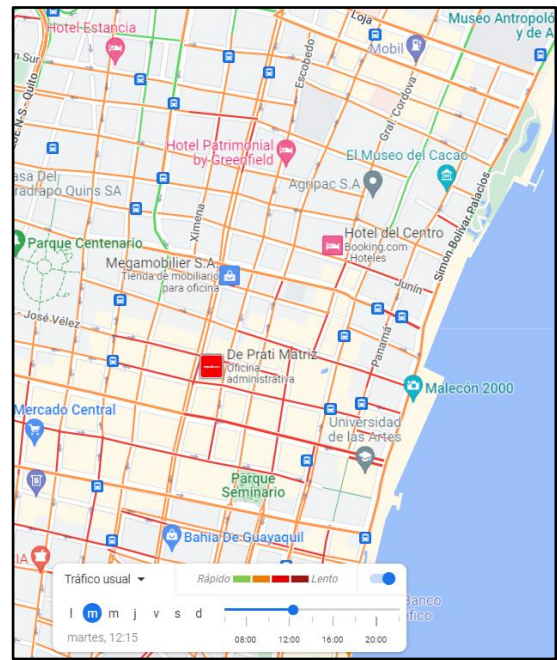
18:10

Figura 0-4 Tres zonas horarias del lunes [Fuente: Elaboración propia]

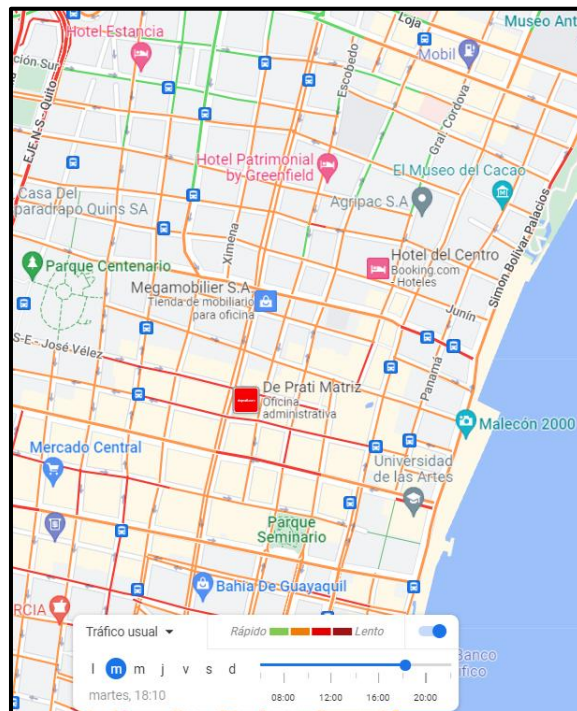
## MARTES



8:35



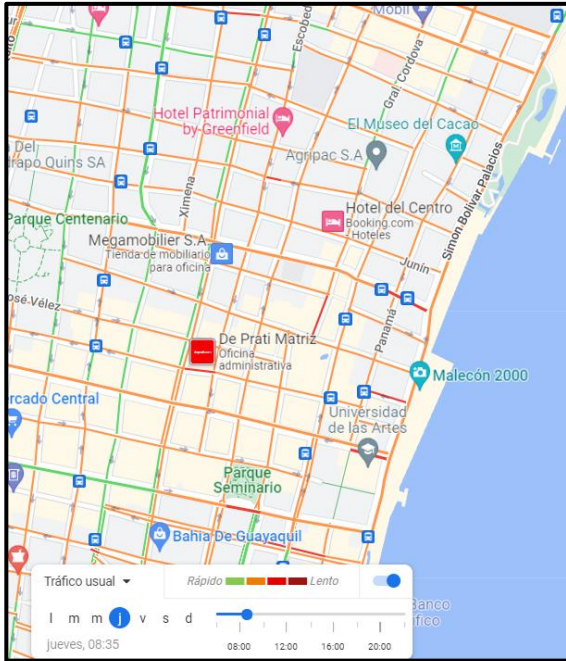
12:15



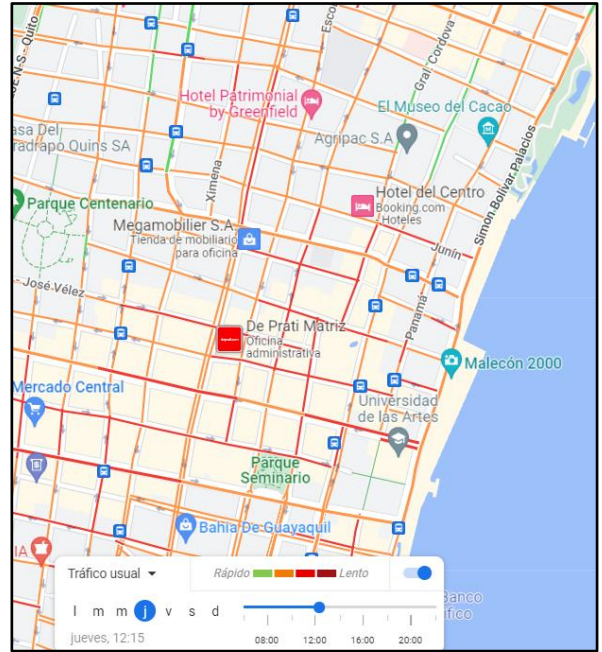
18:10

Figura 0-5 Tres zonas horarias del martes [Fuente: Elaboración propia]

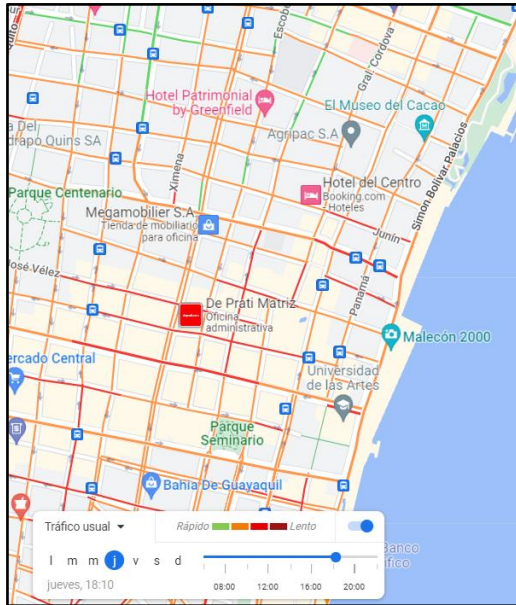
# JUEVES



8:35



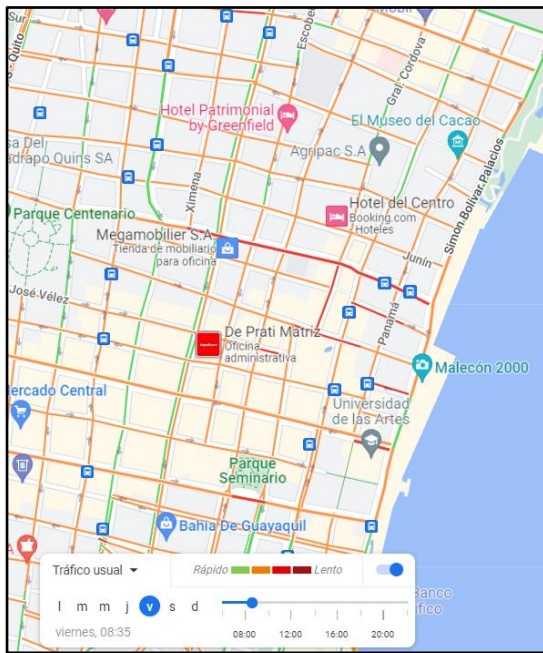
12:15



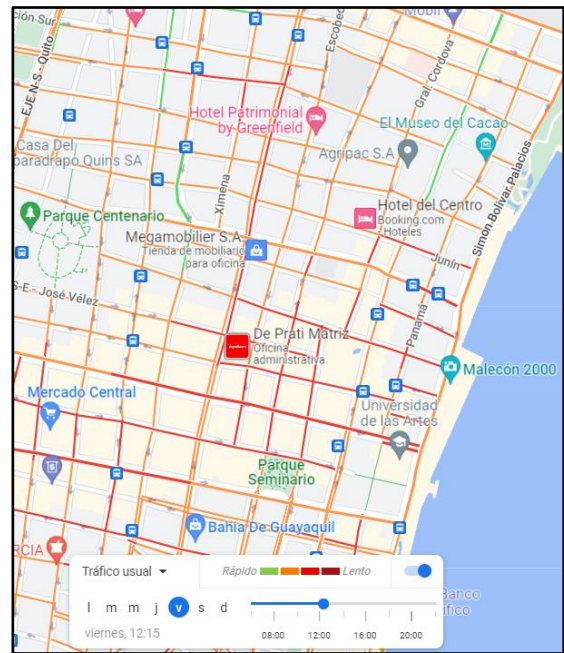
18:10

Figura 0-6 Tres zonas horarias del jueves [Fuente: Elaboración propia]

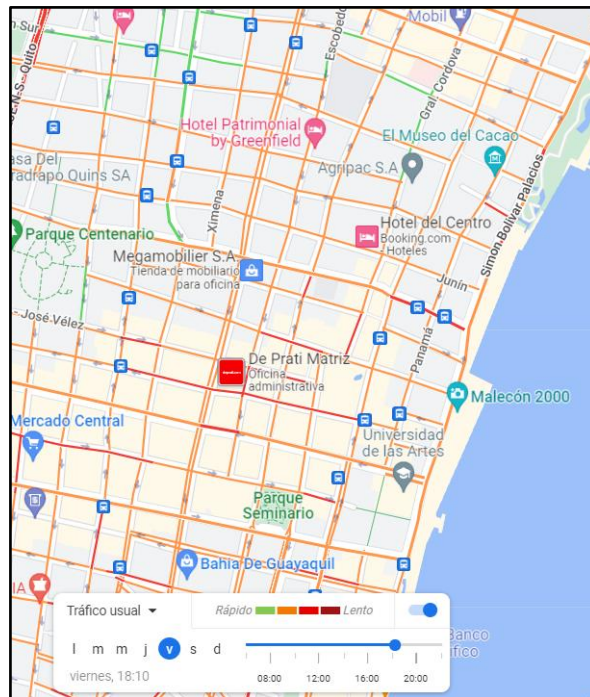
## VIERNES



8:35



12:15



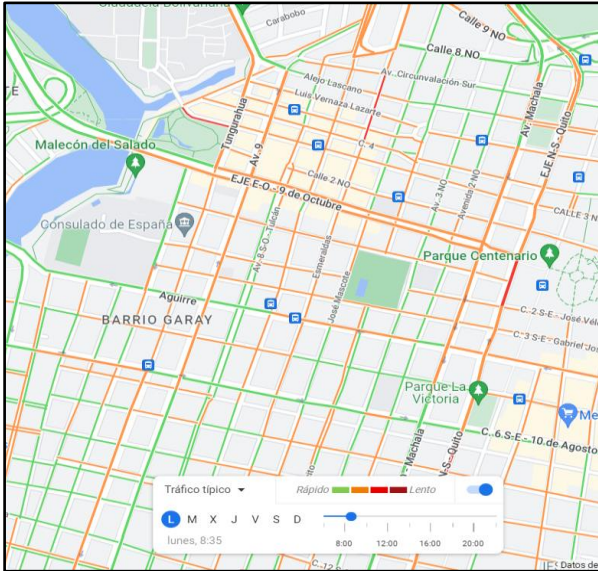
18:10

Figura 0-7 Tres zonas horarias del viernes [Fuente: Elaboración propia]

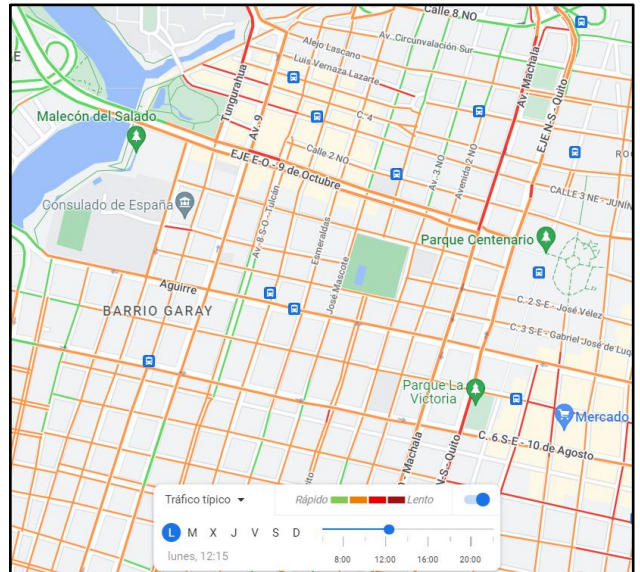


# Análisis del nivel de tráfico de la Subzona Oeste

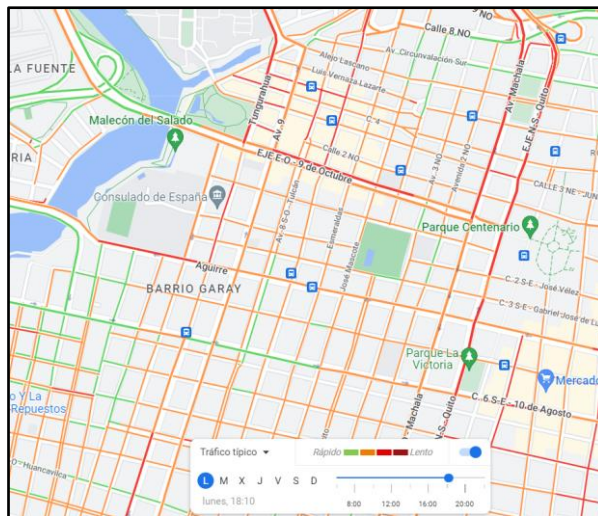
## LUNES



8:35



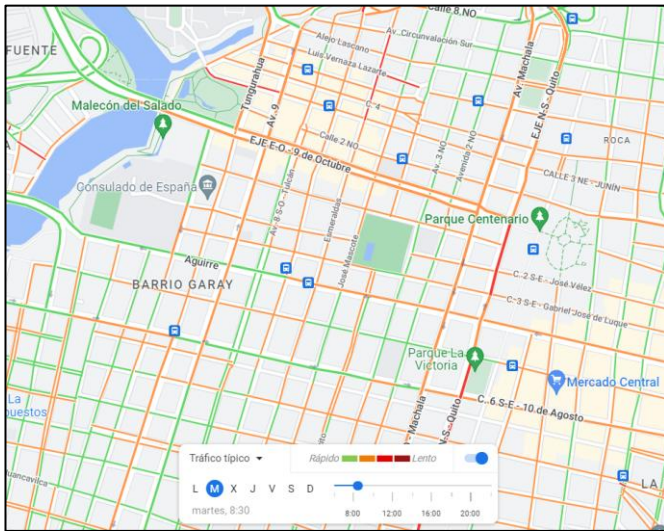
12:15



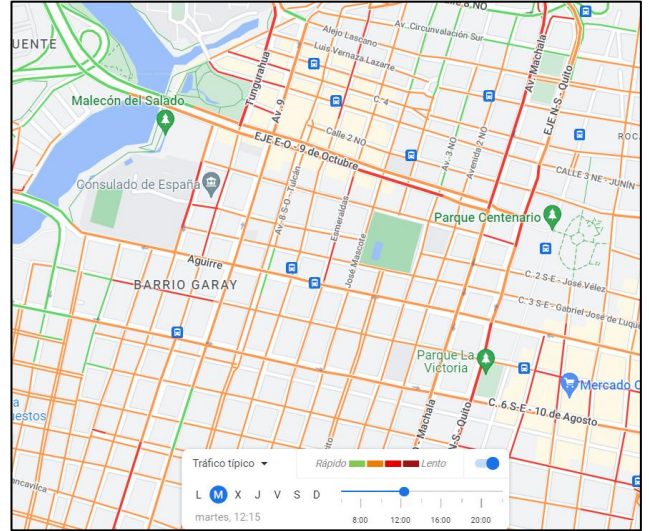
18:10

Figura 0-8 Tres zonas horarias del lunes [Fuente: Elaboración propia]

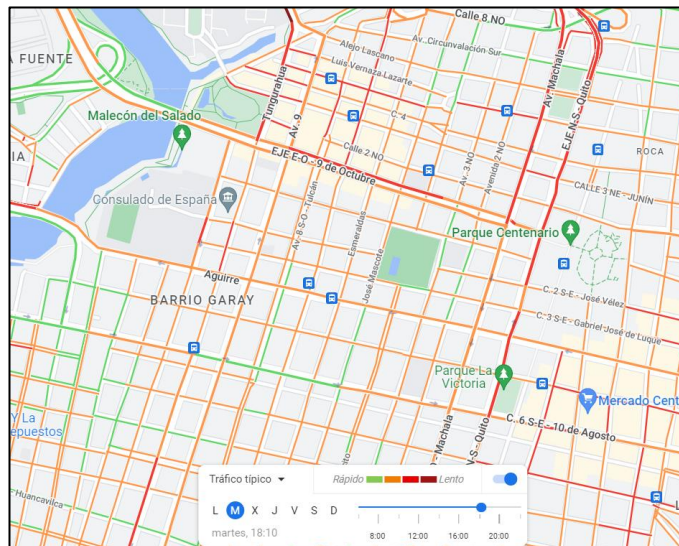
# MARTES



8:35



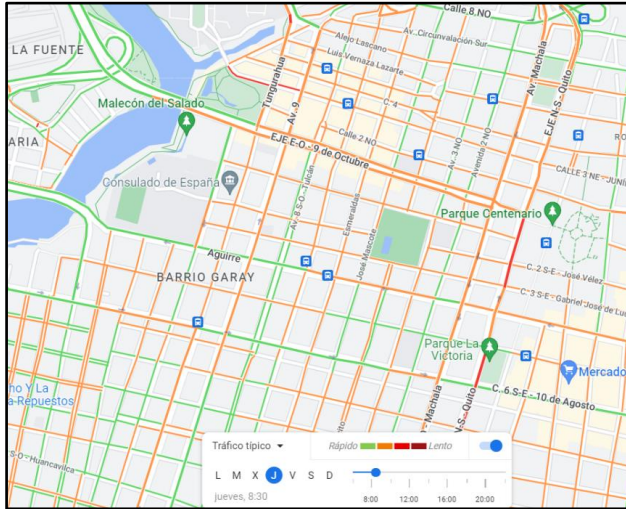
12:15



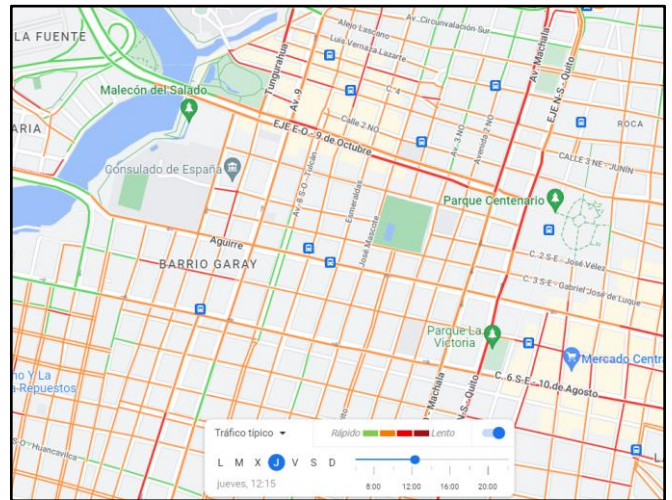
18:10

Figura 0-9 Tres zonas horarias del martes [Fuente: Elaboración propia]

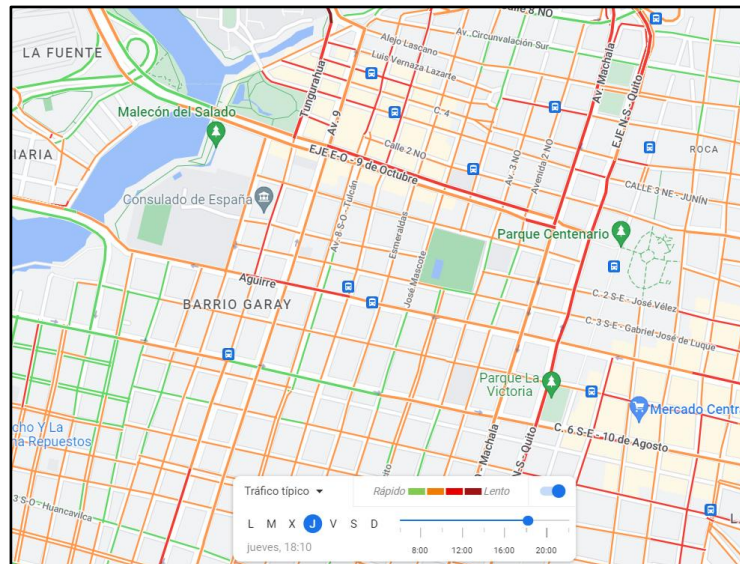
# JUEVES



8:35



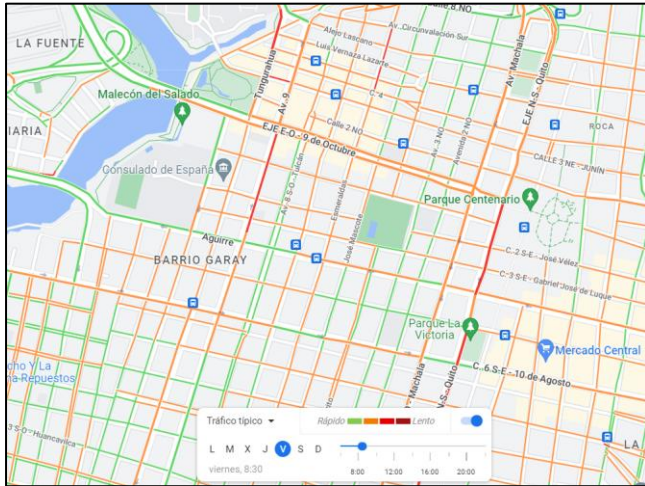
12:15



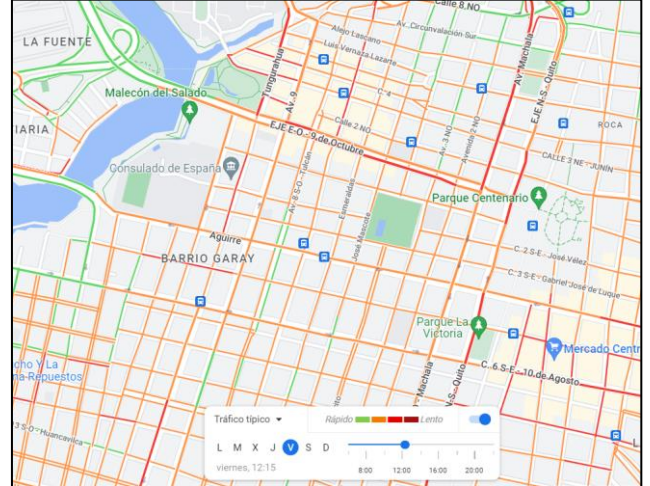
18:10

Figura 0-10 Tres zonas horarias del jueves [Fuente: Elaboración propia]

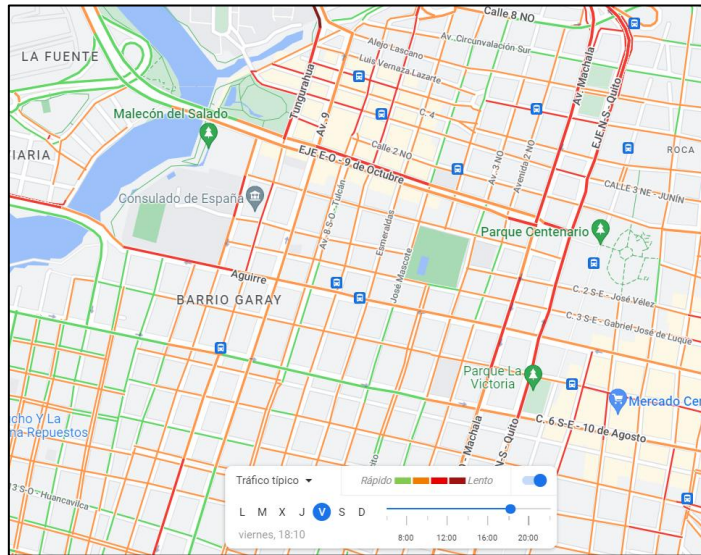
# VIERNES



8:35



12:15



18:10

Figura 0-11 Tres zonas horarias del viernes [Fuente: Elaboración propia]





## Código en Python para la obtención de la ruta alimentadora

```
1 import numpy as np
2 from sys import maxsize
3 from itertools import permutations
4 import random
5
6 def permutaciones(paradas,start): #Función que devuelve una lista con todas las permutaciones posibles sin contar el índice de la parada inicial
7     vertices=[]
8     for i in range(paradas):
9         if i!=start:
10            vertices.append(i)
11     vertices=list(permutations(vertices))
12     return vertices
13
14 def solucion_Inicial(matriz,inicio,permutaciones): #Función que genera una solución inicial
15     tiempo_actual=0
16     tiempo_minimo=maxsize
17     indices=permutaciones[random.randint(0,len(permutaciones)-1)] # coge cualquiera de las permutaciones hechas
18     k=inicio
19     for j in indices:
20         tiempo_actual+=matriz[k][j]
21         k=j
22     tiempo_actual+=matriz[k][inicio]
23     tiempo_minimo=min(tiempo_minimo, tiempo_actual) #en minutos
24     indexs=list(indices).copy()
25     indexs.append(inicio)
26     c=0
27     return tiempo_minimo
28
29 def mejorar_solucion(min_time,vert_permutados,start,matriz): #Función que pretende mejorar la solución inicial
30     tiempo_minimo=min_time #en minutos
31     route=[]
32     for i in vert_permutados:
33         ruta = np.zeros((len(matriz), len(matriz)))
34         tiempo_actual=0
35         ind=start
36         for j in i:
37             tiempo_actual+=matriz[ind][j]
38             ruta[ind][j]=1
39             ind=j
40         tiempo_actual+=matriz[ind][start]
41         ruta[ind][start]=1
42         if tiempo_actual<=tiempo_minimo:
43             route=ruta.copy()
44             tiempo_minimo=tiempo_actual
45     return tiempo_minimo,route
46
47 def frecuencias_dia(tiempo_recorrido,tiempo_espera,tiempo_retraso,tiempo_enparadas,flota): #Función para calcular frecuencia y tiempo de ciclo
48     tiempoCiclo=tiempo_recorrido+tiempo_espera+tiempo_retraso+tiempo_enparadas #en minutos
49     frecuencia=flota/tiempoCiclo #vehiculos/minuto
50     return frecuencia,tiempoCiclo
51
52 def funcionPrincipal(matriz,paradas,inicio,flota,tiempo_espera,tiempo_enparada,tiempo_retraso,t0,factor,tf):
53     t=t0
54     while t>tf:
55         permutacion=permutaciones(paradas,inicio)
56         tiemMin=solucion_Inicial(matriz,inicio,permutacion)
57         tiempo_minimo_recorrido,ruta=mejorar_solucion(tiemMin,permutacion,inicio,matriz)
58         frecuencia,tiempoCiclo=frecuencias_dia(tiempo_minimo_recorrido,tiempo_espera,tiempo_retraso,tiempo_enparada,flota)
59         t=t*factor
60         print('El recorrido de la ruta es:',ruta, sep='\n')
61         print('Con un tiempo de ciclo de:', round(tiempoCiclo,2),'minutos')
62         print('Con una frecuencia de:',round(frecuencia,2), 'vehiculos por minuto')
63         print('o aproximadamente 1 bus cada', round(1/frecuencia,2), 'minutos')
64         return
65     matriz=[[0.00,0.69,1.46,0.69,2.06,4.29,1.60,3.60,3.09],
66            [0.53,0.00,0.77,1.04,1.46,4.06,1.55,2.74,3.43],
67            [1.39,2.38,0.00,2.19,0.72,2.79,1.08,2.06,2.57],
68            [0.72,0.61,1.32,0.00,2.04,4.10,1.90,3.36,3.00],
69            [1.89,2.90,1.02,2.61,0.00,2.07,1.58,1.29,2.04],
70            [2.43,2.16,1.69,1.97,1.77,0.00,0.84,1.53,1.01],
71            [0.80,1.29,0.84,1.13,1.57,2.55,0.00,2.86,1.95],
72            [2.91,3.53,2.19,3.39,1.55,1.32,2.23,0.00,0.60],
73            [2.43,2.88,1.54,2.69,1.63,0.69,1.54,1.46,0.00]]
74     paradas=len(matriz)
75     flota=3 #Numero de buses
76     paradaDeInicio=0 #Parada donde inicia el recorrido
77     taparcado=5 #tiempo que el bus permanece aparcado antes de comenzar un nuevo ciclo en minutos
78     tretroso=1 #tiempo de retraso por reduccion de velocidad y aceleracion en las paradas en minutos
79     tparadas=4.5 #tiempo total de embarque y desembarque de pasajeros en las paradas en minutos (medio minuto por parada)
80
81     funcionPrincipal(matriz,paradas,paradaDeInicio,flota,taparcado,tparadas,tretroso,500,0.8,5)
```

Figura 0-15 Algoritmo en Python [Fuente: Elaboración propia]