

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS**

**TESIS DE GRADO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**“MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN LOGÍSTICA”**

**TEMA**

**OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE VISITAS DE INSPECCIÓN EN EL SERVICIO DE  
MANTENIMIENTO DE ÁREAS VERDES DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL**

**AUTORES**

**ROXANA PIEDAD VILLALVA JARA  
JACINTO JOSÉ MONSERRATE GODOY**

**Guayaquil - Ecuador**

**AÑO**

**2013**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS**

**TESIS DE GRADO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**“MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN LOGÍSTICA”**

**TEMA**

**OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE VISITAS DE INSPECCIÓN EN EL SERVICIO DE  
MANTENIMIENTO DE ÁREAS VERDES DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL**

**AUTORES**

**ROXANA PIEDAD VILLALVA JARA  
JACINTO JOSÉ MONSERRATE GODOY**

**Guayaquil - Ecuador**

**AÑO**

**2013**



## **DEDICATORIA**

A DIOS PADRE POR SU INFINITA MISERICORDIA Y  
PROTECCIÓN CADA DÍA DE MI VIDA.

A MI AMADO ESPOSO WEHRLI.

A MIS ADORADOS PADRES MEDARDO Y AURELIA.

A MI HERMANA ASTRID Y MI NIÑO ELKIN.

POR ESTAR SIEMPRE A MI LADO.

A MARÍA PAZ Y PEDRITO.

## **AGRADECIMIENTO**

A NUESTRO DIRECTOR DE TESIS POR SU VALIOSO APOYO EN LA CULMINACIÓN DE ESTA INVESTIGACIÓN.

A TODOS LOS PROFESORES DEL DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS DE LA ESPOL POR COMPARTIR SU CONOCIMIENTOS CON NOSOTROS.

A NUESTROS RECORDADOS COMPAÑEROS DE PROMOCIÓN POR LAS VIVENCIAS COMPARTIDAS.

A MI FAMILIA, QUIENES SIEMPRE ME AYUDAN A REGRESAR A LA FUENTE.

## **DEDICATORIA**

A DIOS POR SU BENDICIÓN Y GUÍA EN ESTE GRAN PROYECTO DE VIDA.

A MI ESPOSA, MADRE, HERMANA POR SU APOYO INCONDICIONAL PARA CULMINAR CON ÉXITO ESTE GRAN PROYECTO.

A MI PADRE (+) HERMANA (+) Y ABUELOS (+) QUE SEGURO DESDE LO ALTO NOS BENDICEN PARA CUMPLIR CON LAS METAS PROPUESTAS.

## **AGRADECIMIENTO**

A NUESTRO DIRECTOR DE TESIS POR SU APOYO EN LA CULMINACIÓN DE ESTE GRAN PROYECTO.

A TODOS LOS PROFESORES DEL DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS DE LA ESPOL POR COMPARTIR SUS CONOCIMIENTOS CON NOSOTROS.

A MI FAMILIA POR EL IMPULSO QUE ME DAN PARA AVANZAR EN LAS METAS PLANTEADAS.

A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO POR SU APERTURA Y ESPACIO PARA CUMPLIR CON ESTE GRAN PROYECTO.

A NUESTROS COMPAÑEROS DE PROMOCIÓN POR LOS BUENOS MOMENTOS QUE COMPARTIMOS.

A LA FAMILIA PEREZ VILLALVA POR SU APOYO INCONDICIONAL EN ESTE GRAN PROYECTO.

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, nos corresponden exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Matemáticas** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

---

Ing. Roxana Piedad Villalva Jara

---

Ing. Jacinto José Monserrate Godoy

## **FIRMA DEL TRIBUNAL DE GRADUACIÓN**

---

Dr. David Matamoros Camposano  
**PRESIDENTE DE TRIBUNAL**

---

M.Sc. Fernando Sandoya Sánchez  
**DIRECTOR DE LA TESIS**

---

M.Sc. Erwin Delgado Bravo  
**VOCAL DE TRIBUNAL**

**FIRMA DE LOS AUTORES DEL PROYECTO DE  
GRADUACIÓN**

---

Ing. Roxana Piedad Villalva Jara

---

Ing. Jacinto José Monserrate Godoy

## **TABLA DE CONTENIDO**

1	GENERALIDADES DEL PROCESO DE SUPERVISIÓN DE ÁREAS VERDES EN LAS CIUDADES .....	1
<b>1.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.2</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	9
2	MARCO TEÓRICO .....	18
<b>2.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	18
<b>2.2</b>	<b>METODOLOGÍAS DE SOLUCIÓN PARA EL PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS</b> .....	22
2.2.1	EL PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON VENTANAS DE TIEMPO CVRPTW .....	22
2.2.2	ALGORITMOS GENÉTICOS .....	23
2.2.3	ALGORITMOS GENÉTICOS PARA TSP, VRP Y VRPTW .....	24
3	IMPLEMENTACIÓN INFORMÁTICA DEL MODELO DE ENRUTAMIENTO VEHICULAR APLICADO AL PLAN DE VISITAS DE INSPECCIÓN DE ÁREAS VERDES.....	27
<b>3.1</b>	<b>OPTIMIZADORES DE PROPÓSITO GENERAL PARA RESOLVER EL PROBLEMA DEL VRP</b> .....	27
3.1.1	EL OPTIMIZADOR DETERMINÍSTICO EVOLVER .....	28
3.1.2	EL OPTIMIZADOR CON INCERTIDUMBRE RISK OPTIMIZER .....	31
<b>3.2</b>	<b>ESTIMACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO</b> .....	31
3.2.1	MATRIZ DE DISTANCIAS Y TIEMPOS DE SERVICIO .....	35
3.2.2	RESTRICCIONES CONSIDERADAS EN EL MODELO DE TRANSPORTE.....	37
3.2.3	FUNCIÓN OBJETIVO.....	38
3.2.4	RESULTADOS OBTENIDOS.....	41
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	57
5	BIBLIOGRAFÍA .....	59

6 ANEXOS .....	62
----------------	----

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Metros cuadrados de área verde por habitante .....	3
Tabla 2.- Listado de actividades de los contratistas.....	10
Tabla 3.- Número de áreas visitadas por cada supervisor: Situación Actual.....	12
Tabla 4.- Número de supervisores que usan los vehículos: Situación Actual .....	12
Tabla 5.- Distribución semanal de vehículos a cada supervisor: Situación Actual .....	13
Tabla 6.- Plan de Visitas Semanal: Situación Actual .....	14
Tabla 7.- Kilómetros recorridos por el vehículo i: Situación Actual.....	14
Tabla 8.- Minutos recorridos por el vehículo i: Situación Actual .....	15
Tabla 9.- Costos fijos por utilización de vehículo .....	15
Tabla 10.- Costos Totales: Situación Actual .....	16
Tabla 11. - Restricciones del modelo.....	37
Tabla 12.- Número de áreas visitadas por cada supervisor: Solución propuesta.....	50
Tabla 13.- Número de supervisores que usan los vehículos: Solución propuesta .....	50
Tabla 14.- Plan de Visitas Semanal: Solución propuesta .....	51
Tabla 15.- Kilómetros recorridos por el vehículo i: Solución propuesta.....	51
Tabla 16.- Minutos recorridos por el vehículo i: Solución propuesta .....	52
Tabla 17.- Costos totales: Solución propuesta.....	53
Tabla 18.- Comparativo Situación Actual versus Solución propuesta .....	56

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. - Resumen Áreas verdes intervenidas por periodo .....	16
Gráfico 2.- Inversión en áreas verdes .....	17
Gráfico 3.- Áreas verdes por habitante .....	2
Gráfico 4.- Promedio áreas verdes por habitante (en metros cuadrados) .....	4
Gráfico 5.- Proceso de Contratación de Mantenimiento.....	7
Gráfico 6.- Proceso de Asignación de vehículos .....	9
Gráfico 7.- Distribución Pert para Tiempos de Servicio .....	11
Gráfico 8.- Comparativo Horas Semanales .....	52
Gráfico 9.- Comparativo Costos Totales .....	53
Gráfico 10.- Comparativo Emisiones de CO2 .....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Distribución de áreas por contrato .....	16
Figura 2.- Diseño Calendario.....	42
Figura 3.- Pantalla de Inicio.....	42
Figura 4.- Pantalla Definir Modelo.....	43
Figura 5.- Pantalla "Definir Celda Objetivo".....	43
Figura 6.- Pantalla "Celdas ajustables" .....	44
Figura 7.- Pantalla "Definir restricciones".- Cada área un vehículo.....	45
Figura 8.- Pantalla "Tiempo de recorrido" .....	45
Figura 9.- Pantalla "Capacidad del Vehículo" .....	46
Figura 10.- Pantalla "Calendario" .....	46
Figura 11.- Pantalla "Salidas Semanales" .....	47
Figura 12.- Pantalla "Configuración del modelo".....	48
Figura 13.- Pantalla "Tiempo de ejecución" .....	48
Figura 14.- Pantalla "Ejecución del modelo".....	49

## ANEXOS

Anexo 1.- Presupuesto por Dirección Municipal Enero-Diciembre 2010.....	63
Anexo 2.- Matriz de Tiempos entre áreas verdes Parte 1 .....	64
Anexo 3.- Matriz de tiempos entre áreas verdes Parte 2 .....	65
Anexo 4.- Matriz de tiempos entre áreas verdes Parte 3 .....	66
Anexo 5.- Matriz de tiempos entre áreas verdes Parte 4 .....	67
Anexo 6.- Matriz de tiempos entre áreas verdes Parte 5 .....	68
Anexo 7.- Matriz de tiempos entre áreas verdes Parte 6 .....	69
Anexo 8.- Encuesta para la determinación de tiempos de supervisión.....	70
Anexo 9.- Bitácora de salida de vehículos Situación Actual.....	71
Anexo 10.- Mapa área Parque Japonés.....	72
Anexo 11.- Mapa área Distribuidor del Policentro.....	73
Anexo 12.- Mapa Área Francisco de Orellana .....	74
Anexo 13.- Mapa Área Avenida Francisco Rizzo .....	75
Anexo 14.- Mapa Área Avenida Miguel H. Alcívar.....	76
Anexo 15.- Mapa Área Avenida 20 .....	77
Anexo 16.-Parque 20 CNE .....	78

Anexo 17 Mapa Área Avenida Leopoldo Benítez.....	79
Anexo 18 Mapa Área Parque La Garzota.....	80
Anexo 19 Mapa Área Sauces IX.....	81
Anexo 20 Mapa Área Redondel Jaime Roldós.....	82
Anexo 21 Mapa Área Avenida Gabriel Roldós.....	83
Anexo 22 Mapa Área Avenida el Santuario.....	84
Anexo 23 Mapa Área Avenida Gómez Gault.....	85
Anexo 24 Mapa Área Parque Matha Bucaram.....	86
Anexo 25 Mapa Área Deportes Extremos.....	87
Anexo 26 Mapa Área Jardineras Teodoro Maldonado Carbo.....	88
Anexo 27 Mapa Área Parque Ciudadela Ferroviaria.....	89
Anexo 28 Mapa Área Parque Pierre de Coubertin.....	90
Anexo 29.- Áreas a ser visitadas por cada vehículo i Parte 1.....	91
Anexo 30.- Áreas a ser visitadas por cada vehículo i Parte 2.....	92

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar una mejor solución en el Diseño de un Plan de Visitas para la supervisión del mantenimiento integral de las áreas verdes de la ciudad de Guayaquil, que permita verificar el correcto cumplimiento de las actividades ejecutadas por los contratistas; minimizando con ello los costos y maximizando el uso de los recursos disponibles para la operación.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Conocer la problemática actual que posee el proceso de supervisión de áreas verdes de la ciudad de Guayaquil.
- Identificar las variables y/o características que intervienen en el diseño del Plan de Visitas.
- Evaluar el proceso actual de supervisión de áreas verdes de la ciudad de Guayaquil.
- Investigar sobre los modelos existentes que ayuden a solucionar problemas de enrutamiento vehicular.
- Determinar la función que permita minimizar los costos totales de operación.
- Identificar las restricciones de capacidad, tiempos de operación, costos, número de vehículos, etc. que deban ser consideradas en el desarrollo del modelo.
- Desarrollar un programa que optimice el Plan de Visitas.
- Determinar las alternativas de solución para la problemática existente.

# INTRODUCCIÓN

En el año 1996 en Estambul se llevó a cabo la Conferencia de las Naciones Unidas. En dicha Conferencia se trataron temas de trascendencia internacional respecto a los Asentamientos Humanos y su alto crecimiento en el medio urbano, de ésta Conferencia se emitió un documento con el Plan Global de Acciones que permitirían mejorar las condiciones de vida en las áreas urbanas. Entre las acciones consideradas se destaca la importancia de la cantidad y el buen manejo de áreas verdes en zonas urbanas para mejorar el bienestar de las comunidades (1).

Los beneficios de contar con una cantidad suficiente de áreas verdes urbanas son de origen material, ambiental y social; siendo las de origen material: alimentos, madera, especias, forrajes, fibras, medicinas, postes y otros subproductos; por su parte los beneficios sociales y ambientales están ligados a la salud pública, recreación, contaminación del aire, ruido así como el sombreado de superficies respectivamente. Las influencias en el ambiente pueden ir en diferentes escalas considerando la siembra del árbol como unidad o varias unidades, sembradas desde un parque hasta un área metropolitana (1).

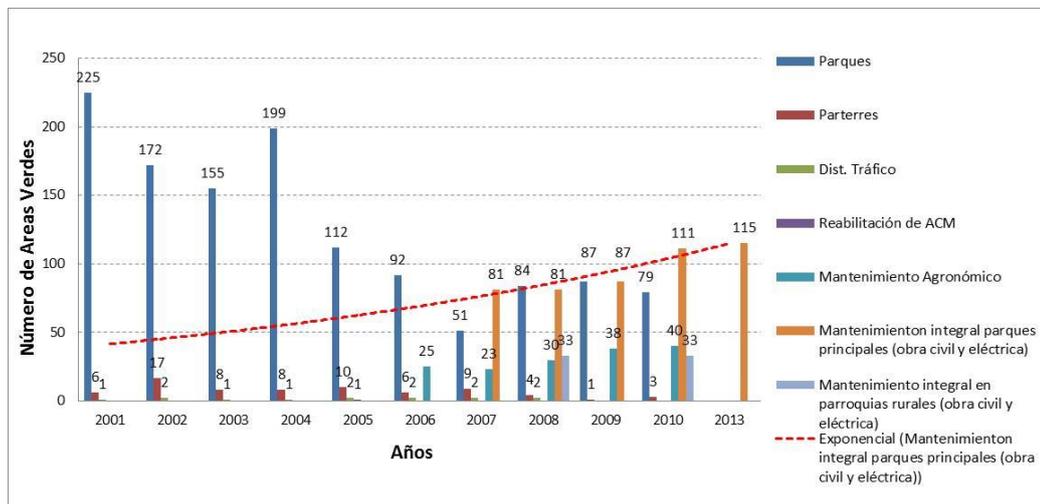
Algunos indicadores económicos obtenidos de estudios realizados en los Estados Unidos demuestran que 100 millones de árboles plantados con una frecuencia de 3 árboles/casa podría reducir los consumos de energía en 30 millones kWh, que en dólares podría ascender a 2 mil millones de dólares. Otros estudios consideran que si bien los costos por siembra, mantenimiento y en algunos casos riego son elevados, los beneficios por el ahorro de energía y la captura de carbono de las especies arbóreas mantienen una relación costo beneficio aún mejor (2).

Un conjunto de áreas verdes no es juzgado simplemente por el cómo se ven las especies vegetales después de la siembra, sino también por la sobrevivencia y adaptabilidad al nuevo ambiente, lo que sin duda conlleva a una gran inversión en actividades para su mantenimiento. La comunidad por su parte tiene un papel protagónico en el cuidado y mantenimiento de estas especies vegetales mientras que los Gobiernos Zonales deben ser los facilitadores de todo el apoyo logístico para que el cuidado pueda realizarse oportunamente (1).

Los procesos de regeneración urbana realizados en la ciudad de Guayaquil comprenden además de los cambios en la obra civil, mejoras en las áreas verdes; y tanto, los trabajos de regeneración, como el mantenimiento de éstos, requieren de un servicio de supervisión eficiente; el cual demanda de la movilización de personal técnico a cada una de las áreas con el fin de verificar el cumplimiento de las actividades planificadas.

Actualmente son diez los contratos de mantenimiento que demandan la supervisión diaria de las actividades, cada uno de estos contratos comprenden en promedio diez áreas verdes (parques, avenidas, distribuidores de tráfico, etc.); sin embargo el diseño actual del plan de visitas requiere de un tratamiento adicional, con el fin de optimizarlo y establecer las rutas a seguir para visitar cada una de las áreas.

En el Gráfico 1 se muestra el número total de las áreas intervenidas en la ciudad de Guayaquil, dentro de las cuales resaltamos las que cuentan con un mantenimiento integral; llámese a esto; áreas que desde el año 2007 (81 áreas verdes) vienen siendo atendidas por contratistas de mantenimiento de áreas verdes, llegando al año 2013 un total de 115 áreas verdes atendidas bajo este sistema.

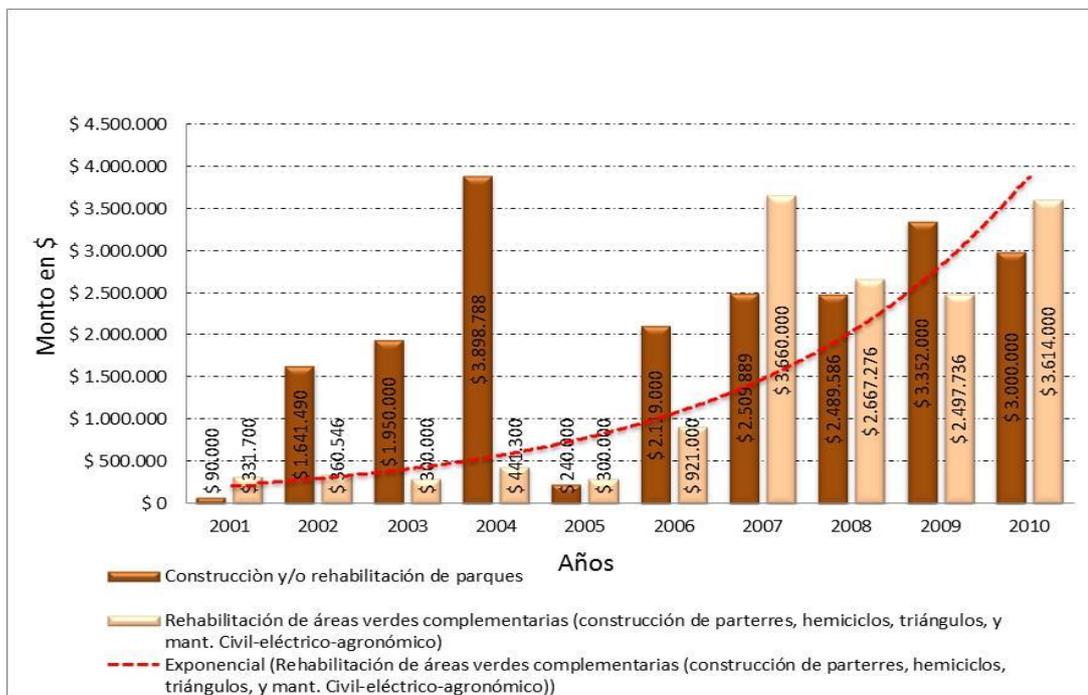


**Gráfico 1. - Resumen Áreas verdes intervenidas por periodo**

**Fuente: M. I. Municipalidad de Guayaquil (3)**

El incremento en número de áreas verdes atendidas, se complementa con los montos de inversión que la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil destina para dicha actividad, en el Gráfico 2 se puede apreciar que hasta el año 2006, los montos de

inversión oscilaban aproximadamente en cuatrocientos mil dólares anuales, en promedio, y que, a partir del año 2007, el rubro anual destinado a la rehabilitación de áreas verdes complementarias ascendería a los tres millones de dólares, que representaría el 30% del presupuesto total de la Dirección de Áreas Verdes, según lo revisado en la literatura consultada (3).



**Gráfico 2.- Inversión en áreas verdes**

**Fuente: M. I. Municipalidad de Guayaquil (3)**

La investigación de operaciones (IO) por su parte incluye un conjunto de técnicas matemáticas que proporcionan un aporte cuantitativo a la toma de decisiones, desarrollada en gran medida a partir de las necesidades militares y la escasez de recursos originados por la Segunda Guerra Mundial, la IO fue un factor clave en la asignación de esos recursos escasos en las distintas operaciones militares. De ahí que fue fácil que estas técnicas se popularicen en el campo civil, para la optimización de procesos de las empresas y el aumento de sus ganancias o minimización de sus costos.

El objeto del presente estudio, se centra en aplicar las técnicas de la investigación de operaciones para resolver el problema del plan de visitas que realizan los supervisores a las distintas áreas que reciben mantenimiento integral, para lo cual es

importante el ajuste de un modelo matemático con componentes de incertidumbre que represente un problema de enrutamiento vehicular.

En muchas situaciones este tipo de problemas incluyen restricciones de capacidad, tiempo de operación, costos de mantenimiento y operación, distribución de personal, disponibilidad de vehículos, condiciones ambientales, distribución geográfica, vías unidireccionales o bidireccionales, días laborables, entre otros, que pudieran ser consideradas en el diseño del modelo.

Las técnicas de IO buscan encontrar una solución óptima, de menor costo, utilizando eficientemente los recursos disponibles, para así determinar las rutas a seguir, el sentido de éstas y la posición geográfica, que ofrecen como resultado el mínimo tiempo recorrido y que serán el insumo para el diseño del Plan de Visitas.



## **CAPÍTULO I**

# **1 GENERALIDADES DEL PROCESO DE SUPERVISIÓN DE ÁREAS VERDES EN LAS CIUDADES**

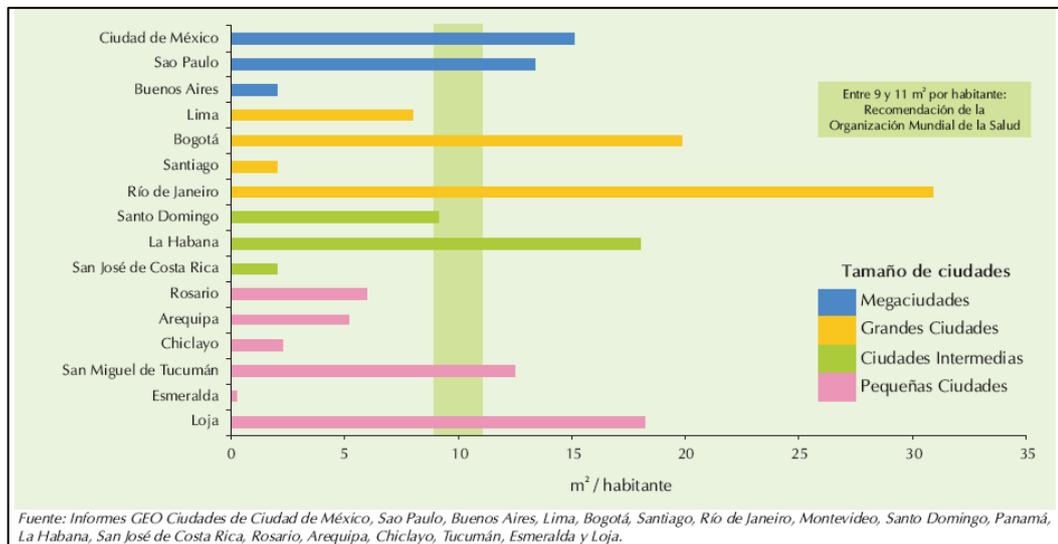
### **1.1 INTRODUCCIÓN**

El acelerado crecimiento de las zonas urbanas en las principales ciudades de Latinoamérica es sin duda unas de las mayores preocupaciones que tienen sus autoridades municipales, las cifras indican que actualmente el 81% de la población vive en las zonas urbanas y se estima que para el año 2030 la cifra alcance el 86% tal como sucede actualmente en Europa Occidental, según se señala en (4). Esto traerá implicaciones económicas, políticas y sociales debido a la alta demanda de los recursos y a la capacidad de reacción que puedan tener las ciudades ante problemas que ya se han vuelto cotidianos tales como: un deterioro del medio ambiente urbano, congestión de tráfico, las políticas de uso de tierra, disposición de los desechos y la calidad del aire.

En la actualidad cada día son más las ciudades que consideran los espacios verdes como un componente de un grupo de actividades para mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos, lo que incluye la recuperación de algunos espacios verdes olvidados y la generación de otros, todo esto dentro de un plan verde que algunas ciudades a nivel mundial ya están implementando. Salvador Palomo en (5), menciona a la ciudad española de Valencia como una de las ciudades pioneras que ha puesto en marcha la redacción de un plan verde.

La recuperación de los espacios verdes en las ciudades no solo beneficia el entorno paisajístico de las mismas, sino también mejora la salud de sus habitantes, reduce la contaminación del aire y mejora la biodiversidad. La Organización Mundial de la Salud (OMS) propone un estándar entre 9 y 11 m<sup>2</sup> de áreas verdes por habitante, sin embargo los cálculos para determinar el promedio en m<sup>2</sup> de área verde son complejos debido a que la distribución de áreas verdes en las ciudades no es homogénea lo cual conlleva a que en algunos sectores de ciudades importantes se sobreestime la cantidad de m<sup>2</sup> de Área Verde por habitante.

En el Gráfico 3 se muestra la densidad en m<sup>2</sup> de áreas verdes por habitantes de algunas ciudades de Latinoamérica.



**Gráfico 3.-** Áreas verdes por habitante

**Fuente:** Informes GEO Ciudades

Por otro lado, según se menciona en un Informe del Programa para Naciones Unidas para el Medio Ambiente (5), existen otras ciudades que sobrepasan ampliamente lo establecido por la OMS. Ciudades como Curitiba en Brasil, han implementado sistemas óptimos para la siembra y conservación de espacios verdes en la ciudad logrando con ello alcanzar un promedio de 52 m<sup>2</sup> de área verde por habitante.

En la Tabla 1 se muestran los datos de algunas ciudades con los respectivos metros cuadrados de áreas verdes por habitante.

**Tabla 1.- Metros cuadrados de área verde por habitante**

<b>Ciudades</b>	<b>m<sup>2</sup>/hab.</b>
Ciudad de México	15
Sao Paulo	13
Buenos Aires	3
Lima	8
Bogotá	20
Santiago	3
Rio de Janeiro	33
Curitiba	52
Santo Domingo	9
La Habana	18
San José de Costa Rica	3
Rosario	6
Arequipa	5
Chiclayo	3
San Miguel de Tucumán	12
Esmeralda	1
Loja	18
**Guayaquil	6,52
***Quito	20,4

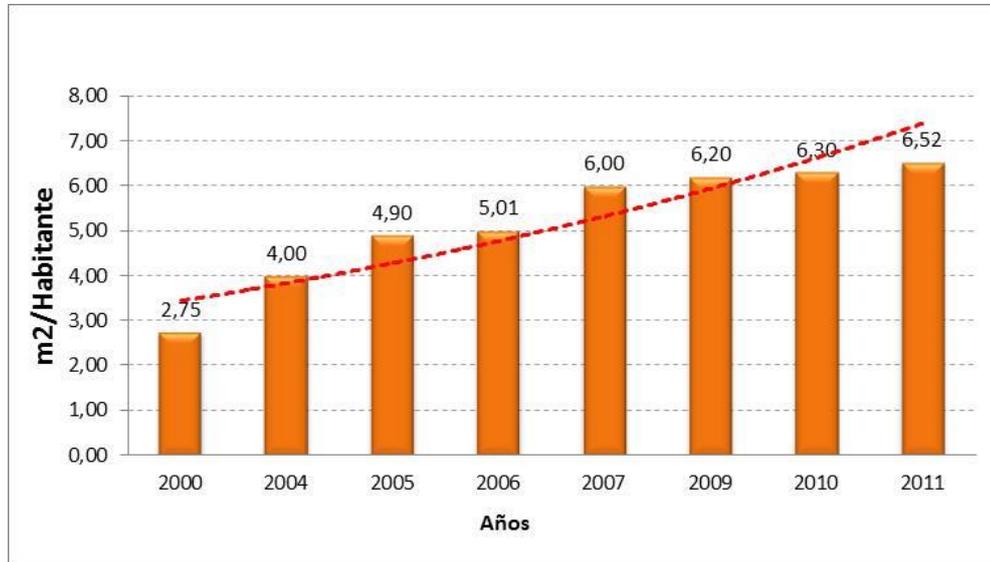
**Fuente:** Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

\*\*Rendición de Cuentas M. I. Municipalidad de Guayaquil(3)

\*\*\*[http://www.inec.gob.ec/sitio\\_verde/presentacion\\_verde\\_urbano.pdf](http://www.inec.gob.ec/sitio_verde/presentacion_verde_urbano.pdf)

La ciudad de Guayaquil por su parte ha venido mejorando en la cantidad de áreas verdes por metros cuadrados, los esfuerzos de las Autoridades Municipales han tenido grandes alcances desde el año 2000 con 2,75 m<sup>2</sup> de área verde por habitante, alcanzando

al año 2011, los 6,52 m<sup>2</sup> de densidad de área verde por habitante (davph), tal como se aprecia en el Gráfico 4.



**Gráfico 4.-** Promedio áreas verdes por habitante (en metros cuadrados)

**Fuente:** Rendición de Cuentas M. I. Municipalidad de Guayaquil(3)

El camino más directo para un plan verde sería incluir dentro del documento de mayor rango del urbanismo, un plan general para el manejo o su equivalente en cada caso, lo cual ha sido adoptado por ciudades como Mainz, Turín, Viena y San Francisco (6). Sin embargo otra posibilidad es trabajar con instrumentos complementarios, o sea, con planeamiento diferido o de desarrollo; esto último podemos mencionar que se asemeja a lo que se está haciendo en algunas ciudades de Ecuador y que lo conocemos bajo el nombre de regeneración urbana o recuperación de espacios públicos.

La regeneración incluye dentro de sus actividades, mejoras tanto a componentes abióticos como bióticos, este último en la mayoría de los casos se compone de áreas verdes. Las áreas verdes a diferencia de los elementos abióticos (estructuras de hormigón hierro y otros materiales), necesitan una mayor frecuencia de atención, ésta se resume en el cumplimiento de un grupo de prácticas culturales (podas, controles fitosanitarios, riego, fertilización, etc.) con una periodicidad establecida, que da como resultado mantener el buen estado fisiológico de las especies vegetales y por ende su belleza escénica.

Los procesos de regeneración se vienen dando en varias ciudades del Ecuador desde hace aproximadamente diez años, en particular el manejo tanto de la siembra como el mantenimiento de las áreas verdes han ido evolucionando constantemente con el fin de realizar procesos cada día más eficientes.

El manejo de las áreas verdes urbanas requiere un alto nivel de capacidad institucional para planificar, ejecutar y mantener las áreas verdes de una ciudad. En América Latina varias administraciones gubernamentales luchan contra limitaciones burocráticas que dificultan el desarrollo de nuevas iniciativas, algunas experiencias testificadas por personal a cargo de las áreas verdes de la Ciudad de México han pasado por proceso de licitación lentos, con falta de claridad y con varias restricciones los cuales a su vez han retrasado los trabajos de mejoramiento de las áreas verdes.

En otras ciudades como Quito y Cuenca donde el mantenimiento de las áreas verdes no requiere una mayor demanda de recursos debido a las condiciones climáticas, el mantenimiento de las áreas verdes es realizado en su mayoría por personal municipal, mientras que en ciudades como Santo Domingo, Machala y Guayaquil donde las condiciones climáticas exigen una mayor demanda de recursos, el servicio de mantenimiento es parcialmente tercerizado, es decir realizado mediante contratos públicos de mantenimiento.

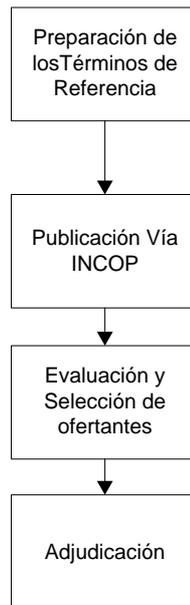
Los contratos públicos son herramientas legales o documentos escritos utilizados en este caso por las Instituciones Gubernamentales, mediante el cual se comprometen tanto al contratante como contratista en el cumplimiento de los alcances establecidos en una propuesta y/o negociación llevada a cabo entre las partes mencionadas.

La Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil por su parte, ha implementado un mecanismo para que una parte del mantenimiento de las áreas verdes de la ciudad se realice a través de contratos de mantenimiento.

El proceso de contratación del mantenimiento comprende varias etapas para su consecución, con tiempos determinados por la entidad contratante, una breve descripción de éstas se detallan a continuación:

- **Preparación de los Términos de Referencia.-** Una vez asignada la partida presupuestaria para la contratación del mantenimiento, la Dirección a cargo del proceso, en este caso, la Dirección de Áreas Verdes, prepara los Términos de Referencia o lineamientos para la contratación. Dicho documento contiene las especificaciones técnicas del proceso, presupuesto referencial, tabla de cantidades y número de áreas verdes incluidas dentro del proceso.
- **Publicación del concurso a través del SERCOP.-** Una vez preparado los Términos de Referencia para la contratación, el documento es presentado a través de la página del SERCOP como un concurso público, de tal forma que empresas que brindan el servicio de mantenimiento puedan presentar sus ofertas para brindar el servicio de mantenimiento de áreas verdes.
- **Evaluación y selección de las empresas concursantes.-** Una vez presentadas las ofertas por parte de la empresa concursante, la entidad contratante evaluará las ofertas y seleccionará la empresa a la cual se le adjudicará el concurso. En el proceso de evaluación, por lo general, se consideran aspectos relacionados a la presentación de la propuesta técnica, experiencia de las empresas concursantes, equipo técnico y la propuesta económica.
- **Adjudicación del concurso.-** Una vez adjudicado el concurso, la empresa seleccionada deberá presentar documentos habilitantes (pólizas, certificados etc.) para proceder con la elaboración del contrato y su posterior firma.

De esta forma la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil en los últimos años ha presentado en concurso público diez contratos de mantenimiento con lo cual se espera ser más eficiente en el cumplimiento de las prácticas culturales que conlleva el mantener el buen estado de las áreas verdes. En el Gráfico 5 se aprecia el diagrama de flujo del proceso de contratación del mantenimiento integral.



**Gráfico 5.-** Proceso de Contratación de Mantenimiento

**Fuente:** Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

Por otro lado, las áreas consideradas dentro de los procesos de regeneración, están ligadas a los requerimientos de atención por parte de sectores específicos (barrios, parroquias) y al plan de desarrollo de cada una de las ciudades, mediante los cuales se les da prioridad a las áreas que se encuentran más deterioradas; y por ende, que necesitan un proceso de regeneración; una vez finalizados los trabajos de regeneración, éstas áreas ingresan dependiendo de su ubicación a los grupos de áreas regeneradas y así puedan ser parte del servicio de mantenimiento tanto de los elementos abióticos como bióticos (áreas verdes).

La supervisión del cumplimiento de las prácticas culturales debe realizarse diariamente por parte de un grupo de Supervisores de tal forma que permita corroborar el correcto cumplimiento de éstas. No obstante, el proceso de verificación se dificulta al contar con un grupo extenso de áreas verdes que están distribuidas en toda la ciudad y para ello, es necesario diseñar un plan de visitas que optimice la supervisión de dichas actividades.

Generalmente un plan de visitas es estructurado de acuerdo a las actividades que se realizan durante un tiempo determinado, el cual puede ir desde un cuadro de planificación simple hasta una matriz de rutas, dependiendo de la cantidad de visitas a realizar.

En la actualidad, debido al incremento de áreas verdes que deben ser supervisadas el proceso actual requerirá una mejora y por ende la planificación involucraría la evaluación de una serie de restricciones las cuales obligarían a que el sistema de visitas actual deba ser planificado con mayor precisión, optimizando así los recursos con los que se cuentan, minimizando los costos y maximizando el uso de los mismos.

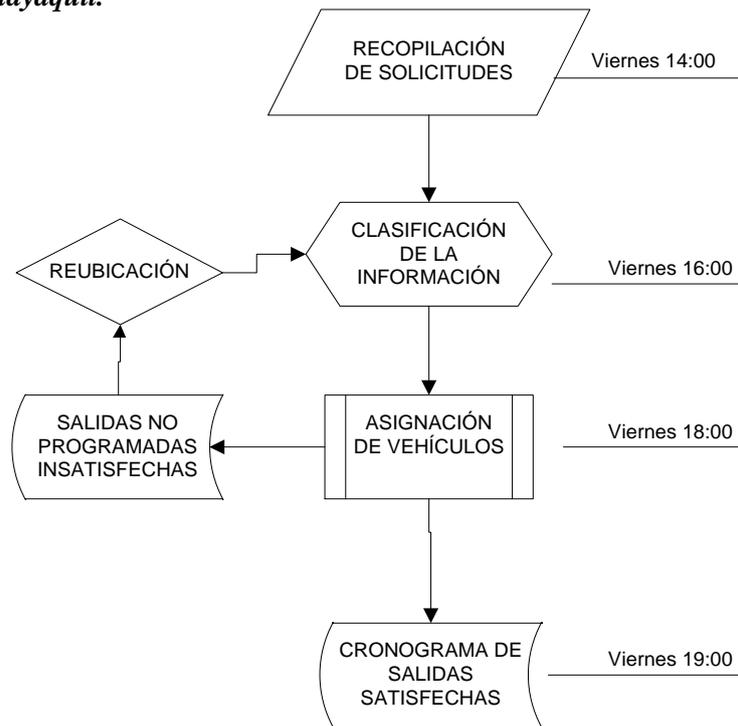
En el **Gráfico 6** se muestra el proceso actual de asignación de vehículos a los supervisores, el cual inicia con la recopilación por parte del Coordinador de Transporte de las solicitudes de movilización (asignación de vehículo) hechas por los supervisores, la cual tiene una frecuencia semanal.

Las solicitudes pasan por un método de asignación a criterio del Coordinador de Transporte, que considera el lugar a ser visitado (área verde), tiempo estimado de recorrido y número de personas que se movilizarán en dichos vehículos, según las solicitudes receptadas.

Entre los distintos problemas que surgen utilizando este método de asignación, se podrían mencionar:

1. La no atención de las solicitudes o demandas insatisfechas de los supervisores; al no disponer de vehículo para movilizarse y realizar las visitas a las áreas verdes.
2. Los retrasos en la devolución del vehículo a la oficina (depósito), para que sea utilizado por otro supervisor, dándose principalmente por factores de tiempos de servicio, distancias recorridas, entre otros, que actualmente no se encuentran registrados.

Por otro lado, los supervisores a los que no se les asignó vehículo para su movilización, pasan a una lista de espera, que será atendida en cuanto haya una disponibilidad de unidades (vehículos).



**Gráfico 6.-** Proceso de Asignación de vehículos

**Fuente:** Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

En la siguiente sección se presenta una descripción del problema objeto de estudio de esta investigación.

## 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El servicio de mantenimiento de las áreas verdes<sup>1</sup> es administrado por la Dirección de Áreas Verdes del Municipio de Guayaquil, la cual tiene como misión recuperar, rehabilitar y mantener los parques y áreas verdes complementarias del Cantón Guayaquil. Para su atención y mantenimiento, éstas áreas se encuentran agrupadas en 10 contratos distribuidos en toda la ciudad de Guayaquil; lo cual mejora considerablemente el proceso de mantenimiento; sin embargo, paralelo al servicio de mantenimiento se realiza un proceso de supervisión a éstas actividades, las cuales debe ser tan eficiente de forma que permita la verificación diaria de las actividades realizadas por los contratistas de mantenimiento. Para esta investigación se han considerado 52 unidades de áreas verdes, de las cuales se recopilará información relevante que permita modelar la situación real, mediante técnicas de optimización.

<sup>1</sup>Entiéndase por áreas verdes las jardineras ubicadas a lo largo de una avenida en redondeles, parques y distribuidores de tráfico.

Debido a que la distancia entre cada punto es distinta de acuerdo a las vías unidireccionales y bidireccionales; la supervisión de las actividades de mantenimiento demanda una mayor cantidad de recursos, lo que incrementa considerablemente los costos de supervisión, en especial, cuando el proceso de planificación de las visitas se encuentra regulada bajo un cronograma, que provee de movilización a los supervisores.

Las actividades indicadas en la Tabla 2 se encuentran incluidas dentro de un programa de mantenimiento integral, que es ejecutado por el contratista a cargo del sector y corroborado por el supervisor encargado de dicho contrato.

**Tabla 2.- Listado de actividades de los contratistas**

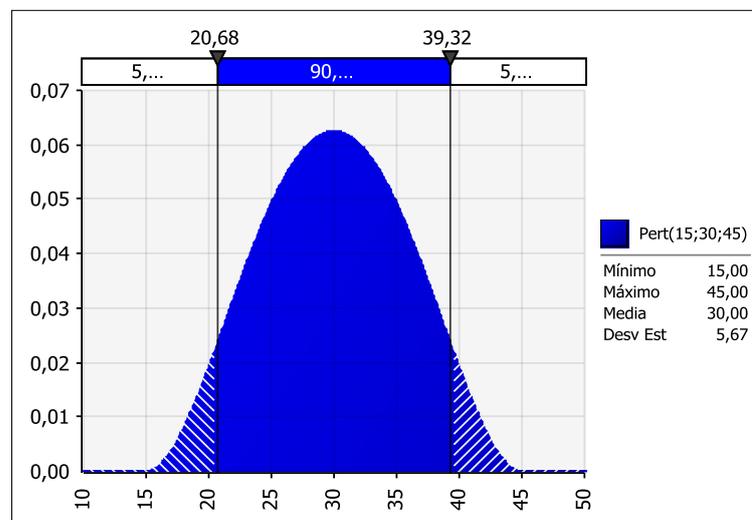
<b>Actividades</b>	<b>Frecuencia de ejecución</b>	<b>Unidad de frecuencia</b>
<b>Poda de árboles grandes, medianos y pequeños.</b>	2 veces	Año
<b>Poda de vegetación baja.</b>	1 vez	Mes
<b>Poda de elaboración de filos</b>	1 vez	Mes
<b>Poda de topiarios</b>	6 veces	Año
<b>Poda de raíces</b>	1 vez	Año
<b>Limpieza de palmas</b>	1 vez	Mes
<b>Limpieza de malezas</b>	1 vez	Mes
<b>Control químico de malezas</b>	1 vez	Mes
<b>Control fitosanitario (plagas y enfermedades)</b>	1 vez	Mes
<b>Fertilización (foliar y edáfica)</b>	1 vez	Mes
<b>Fertilización Orgánica</b>	1 vez	Año
<b>Riego con tanquero</b>	1 vez	Día
<b>Riego con manguera</b>	1 vez	Día
<b>Incorporación de tierra preparada</b>	1 vez	Día
<b>Reposición de especies vegetales</b>	1 vez	Día
<b>Barrido y limpieza</b>	1 vez	Día
<b>Desalojo de material</b>	1 vez	Día

Fuente: Términos de referencia de los contratos de Mantenimiento de áreas verdes

En la actualidad, a Septiembre de 2013, se cuenta con varios recursos para el proceso de supervisión, entre los cuales están:

- 4 unidades de vehículos (camionetas doble cabina), que se usan diariamente para el recorrido. Cada vehículo tiene su chofer asignado.
- 10 Supervisores (Ing. Agrónomos y Biólogos).
- 1 Coordinador de Transporte, el cual elabora el plan de visitas semanal.

El tiempo de servicio por cada supervisor para realizar las actividades planificadas en cada una de las áreas a cargo del contratista de mantenimiento integral, se ajusta a una distribución de probabilidad Pert, según datos levantados mediante una encuesta a los supervisores. Siendo quince minutos el tiempo mínimo utilizado, treinta minutos el tiempo más probable y cuarenta y cinco minutos el tiempo máximo en realizar sus actividades de supervisión por área, la distribución de este tiempo de servicio puede apreciarse en el **Gráfico 7**.



**Gráfico 7.-** Distribución Pert para Tiempos de Servicio

**Fuente:** Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

Así, considerando que el turno de trabajo de cada supervisor es de 4 horas diarias. En la situación actual verificaría con mayor frecuencia entre 1 a 2 áreas, y en muy pocos casos hasta 3 áreas, tal como se aprecia en la Tabla 3. Además notamos que en tres días de la semana, se concentra la mayor cantidad de áreas visitadas, esto es, un 73% del total de áreas.

Los días lunes y miércoles se visitan catorce áreas, cada día, y los días jueves son visitadas diez áreas, quedando para los días restantes un número menor de áreas a ser visitadas.

**Tabla 3.- Número de áreas visitadas por cada supervisor: Situación Actual**

Supervisor	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Total visitadas
1	2	2			1	5
2	2		2		2	6
3	2		2		1	5
4	2	2				4
5	2	1		2		5
6	2		2	1		5
7	2		3			5
8		1	2	3		6
9		2	1	1	2	6
10			2	3		5
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>52</b>

Fuente: Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

En la Tabla 4, se muestra el número de supervisores que usan los vehículos semanalmente, en la actualidad de uno a dos supervisores usan en el día los vehículos para realizar las visitas a las áreas verdes.

**Tabla 4.- Número de supervisores que usan los vehículos: Situación Actual**

Vehículo i	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Totales
Vehículo 1	2	2	2	2	1	9
Vehículo 2	2	1	2	1	1	7
Vehículo 3	2	1	2	1	1	7
Vehículo 4	1	1	1	1	1	5
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>28</b>

Fuente: Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

La distribución semanal de vehículos se da como se muestra en la Tabla 5, donde se identifica a los vehículos en la primera columna del lado izquierdo con los números del 1 al 4, mientras que los datos dentro de la matriz con los números del 1 al 10 corresponden a la identificación de los supervisores.

**Tabla 5.- Distribución semanal de vehículos a cada supervisor: Situación Actual**

# Vehículos	Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
1	1	2	1	4	2	3	4	5	1	-
2	3	4	5	-	6	7	6	-	2	-
3	5	6	8	-	8	9	8	-	3	-
4	7	-	9	-	10	-	10	-	4	-

Fuente: Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

Para el caso del vehículo 1, éste transportará el día lunes a los supervisores 1 y 2. El día Martes, será utilizado por los supervisores 1 y 4, el día miércoles será usado por los supervisores 2 y 3, el jueves por los supervisores 4 y 5, y; finalmente el día viernes transportará al supervisor 1.

Cabe mencionar que con esta distribución se cubren las visitas de la totalidad de las áreas objeto de estudio. Además se puede observar que no todos los supervisores salen diariamente, tal es el caso del supervisor 10, que únicamente sale los días miércoles y jueves.

Por otra parte, los supervisores cuentan con un tiempo determinado (4 horas diarias = 20 horas semanales), para corroborar el cumplimiento del mantenimiento de las áreas verdes durante la semana; por lo cual se requiere reestructurar el actual plan de visitas de tal forma que disminuya el número de días empleados en realizar las visitas a los grupos de áreas verdes, siendo una alternativa la implementación del sistema “pool car” mediante el cual se pretende incluir más de un supervisor dentro de cada uno de los vehículos disponibles. En la Tabla 6 se muestra el Plan de visitas realizadas semanalmente: Situación Actual.

**Tabla 6.- Plan de Visitas Semanal: Situación Actual**

<b>Supervisor</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b># Áreas visitadas</b>
<b>1</b>	1	1			1	5
<b>2</b>	1		1		1	6
<b>3</b>	1		1		1	5
<b>4</b>	1	1		1		4
<b>5</b>	1	1		1		5
<b>6</b>	1		1	1		5
<b>7</b>	1		1			5
<b>8</b>		1	1	1		6
<b>9</b>		1	1		1	6
<b>10</b>			1	1		5
<b>Totales</b>	7	5	7	5	4	<b>52</b>

**Fuente:** Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

Así, el Supervisor 1, realizará recorridos los días Lunes, Martes y Viernes, supervisando las labores de los contratistas en cinco áreas.

Tal como se muestra en Tabla 6, el Plan de Visitas Actual muestra que los días Lunes y Miércoles, salen siete supervisores a visitar las áreas verdes, los días Martes y Jueves salen cinco supervisores y el día viernes salen cuatro supervisores. La situación actual contempla que hay veintiocho salidas semanales realizadas por diez supervisores.

En la Tabla 7 se presentan los kilómetros recorridos asociados a cada vehículo, según el Plan de Visitas actual, se puede apreciar que tres vehículos concentran el 82% del total de kilómetros recorridos.

**Tabla 7.- Kilómetros recorridos por el vehículo i: Situación Actual**

<b>Vehículo i</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>Totales</b>
<b>Vehículo 1</b>	82	93	108	52	35	370
<b>Vehículo 2</b>	86	50	56	91	40	323
<b>Vehículo 3</b>	78	32	73	50	40	273
<b>Vehículo 4</b>	43	28	45	40	45	201
	289	203	282	233	160	<b>1167</b>

**Fuente:** Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

A continuación en la Tabla 8, se muestran el total de minutos recorridos por los vehículos semanalmente, lo cual asciende a 3,454 minutos, es decir 58 horas semanales y aproximadamente 11.5 horas diarias. Considerando que son cuatro, los vehículos disponibles y que en la semana se realizan veinte recorrido, entonces cada uno recorrería 2.88 horas diarias.

**Tabla 8.- Minutos recorridos por el vehículo i: Situación Actual**

<b>Vehículo i</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>Totales</b>
<b>Vehículo 1</b>	261	279	305	179	90	1,114
<b>Vehículo 2</b>	223	116	246	186	129	899
<b>Vehículo 3</b>	214	85	215	176	99	788
<b>Vehículo 4</b>	112	108	137	159	137	652
	809	588	903	699	454	<b>3,454</b>

**Fuente:** Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

Finalmente en la Tabla 9 se aprecian los costos totales asociados al Plan de Visitas actual, el cual se compone de costos fijos y costos variables.

Los costos fijos por vehículo incluyen rubros de:

- Mantenimiento del vehículo por un valor de \$5,
- Combustible, por un valor de \$10,
- Pago diario al Conductor, por un valor de \$8.50.

**Tabla 9.- Costos fijos por utilización de vehículo**

<b>RUBRO</b>	<b>Costo Unitario</b>
EVENTUALIDADES MENORES Y/O MANTENIMIENTO	5.00
COMBUSTIBLE	10.00
CONDUCTOR	8.50
<b>TOTAL</b>	<b>23.50</b>

**Fuente:** Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

Para los costos variables de utilización se consideró un valor de \$0.06 por cada minuto de espera, según la Ley de Transporte<sup>2</sup>, que será asociado a los minutos de recorridos de cada vehículo.

La suma de los costos fijos y variables, dan como resultado el costo total por utilización del vehículo. Lo deseable es una reducción de estos con la implementación del modelo.

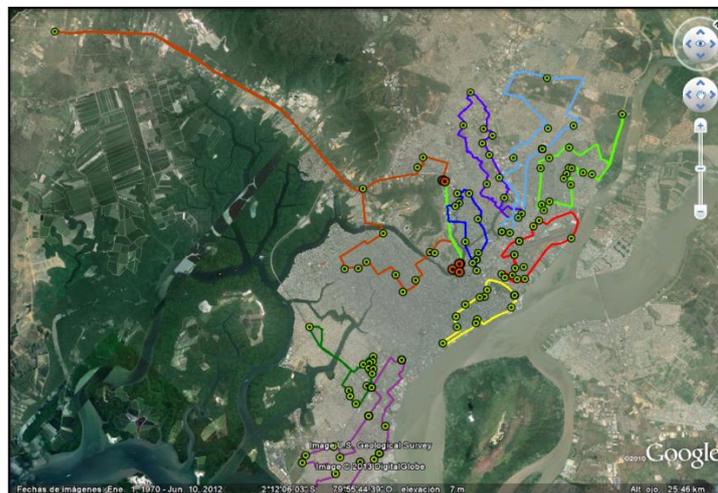
**Tabla 10.- Costos Totales: Situación Actual**

Vehículo i	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Totales
<b>Vehículo 1</b>	39	40	42	34	29	<b>184</b>
<b>Vehículo 2</b>	37	30	38	35	31	<b>171</b>
<b>Vehículo 3</b>	36	29	36	34	29	<b>165</b>
<b>Vehículo 4</b>	30	30	32	33	32	<b>157</b>
	<b>143</b>	<b>129</b>	<b>148</b>	<b>136</b>	<b>121</b>	<b>677</b>

Fuente: Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

Para el Plan de visitas Actual, en la organización cada una de las áreas que conforman los 10 grupos y/o contratos han sido georeferenciadas y levantadas sobre una plataforma de Google Maps con el fin de identificar su ubicación en el espacio, una ilustración de este grupo de áreas verdes identificadas con diferentes colores se muestran en la **Figura 1.**

**Figura 1.- Distribución de áreas por contrato**



<sup>2</sup> El Consejo Nacional de Tránsito, en virtud de lo que dispone el Literal g) del Art. 27 de la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre en concordancia con el Literal b) del Art. 113, del Reglamento de Aplicación a la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre, determina el uso de los taxímetros de última tecnología en los vehículos de transporte público de pasajeros para el servicio de taxis, inicialmente en las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca, el control lo efectuará la Dirección Nacional de Tránsito, Subjefaturas de Tránsito y la Jefatura de Tránsito de la Comisión de Tránsito de la Provincial del Guayas

Sin duda la descripción del problema realizada en este capítulo lo enmarca dentro de los problemas de VRP (Problema de Enrutamiento Vehicular) y sus diferentes aplicaciones, esto lo validaremos en el siguiente capítulo a través de la revisión de literatura de los modelos de optimización, partiendo desde lo más general hasta lo específico y que se aplican al problema descrito.

## **CAPÍTULO II**

# **MODELOS DE OPTIMIZACIÓN UTILIZADOS PARA LA PLANIFICACIÓN DE VISITAS.**

## **2 MARCO TEÓRICO**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

El éxito de la movilización desde un punto seleccionado como origen hacia otro punto seleccionado como destino final puede no ser un inconveniente al momento de planificar una ruta, pues se entiende que la misma conlleva una planificación simple. Sin embargo, el incluir nuevas variables dentro de la programación puede complicar seriamente la planificación de las rutas afectando con ello los costos de la operación y el uso inadecuado de los recursos. La probabilidad de reducir los costos y optimizar los recursos motiva en gran medida a la implementación de modelos de optimización.

En tal sentido varias han sido las investigaciones que en las últimas cuatro décadas han presentado soluciones a través de diferentes formulaciones en el área de Ruteo vehicular (VRP), tal es el caso de Dantzig y Ramser que en 1959 realizaron por primera vez una formulación del problema para una aplicación de distribución de combustible, luego de esto, dicha formulación fue mejorada por Clarke & Wright en los años sesenta mediante la aplicación de una heurística (7). Estos modelos algorítmicos no han dejado de evolucionar incorporando durante este proceso características de la realidad, basando su éxito en los avances de los sistemas informáticos que por su capacidad de procesamiento permiten que estos funcionen y puedan resolver los problemas de manera más eficiente.

Las típicas aplicaciones de los VRP's se pueden encontrar en resoluciones de problemas concernientes a los temas de recolección de basura, limpieza de calles, transporte de personas y/o mercaderías, etc.

El problema del VRP clásico, considera que la flota de vehículos es homogénea y está ubicada en un único depósito, los clientes pueden ser visitados en cualquier momento, el orden de visita no es importante y los vehículos solo entregan o reciben carga. También se ha considerado algunas variantes del VRP debido a las múltiples aplicaciones que estos tienen, dichas variantes son flotas heterogéneas (VRP con Backhauls), con varios depósitos (MDVRP), con ventanas de tiempo (VRPTW), con importancia en el orden de visitas (VRPP), con cargas y descargas (PDVRP), etc.

Por otro lado es muy común considerar al problema del agente viajero TSP como la base de los problemas de distribución mediante la cual se busca minimizar la distancia, tiempos o costos de una ruta. Lo anterior se compara con el ciclo Hamiltoniano de costo mínimo el cual se parte de un depósito pasando por todos los vértices y aristas una sola vez hasta regresar al depósito, todo esto con la menor ruta posible tal como se menciona en (8).

Finalmente el problema del Agente Viajero TSP y el Problema de Ruteo de Vehículos VRP y todas sus variantes, de acuerdo a revisado en la literatura (8), son un problema de optimización combinatoria duro; y sólo pueden resolverse por medio de técnicas exactas en casos pequeños, en un tiempo prudencial, ya que estos son por lo general inadecuados, siendo de uso general en la práctica las heurísticas.

Existen muchos métodos aproximados para resolver el VRP, que pueden ser clasificados de manera general en dos grandes grupos: los métodos heurísticos y los procedimientos más avanzados basados en metaheurísticas. En cuanto a métodos heurísticos se destacan los siguientes métodos para la resolución de este problema:

1. Heurística Clásica de Clarke & Wright
2. Heurística de barrido.

En cuanto a los métodos basados en Metaheurísticas se destacan en la literatura procedimientos de solución basados en Colonia de hormigas, Búsqueda Tabú, Recocido simulado, algoritmos genéticos, etc.

El Algoritmo de ahorros es una heurística clásica de Clarke & Wright, que fue el primer algoritmo que resultó efectivo para la resolución de este tipo de problemas. En cambio la heurística de barrido se sitúa entre los métodos de Asignar Primero – Rutear después, en donde el comportamiento se da en dos pasos, primero crear un cluster, en donde se agrupan a  $n$  clientes que estén en la misma ruta, para luego encontrar una ruta que visite a todos los clientes.

Para encontrar mejores soluciones en los problemas de VRP y VRPTW, se suele utilizar metaheurísticas, que exploran el espacio de soluciones de tal forma que la búsqueda permita una mejora adicional en la calidad de estas soluciones. A continuación se describe algunos de los ejemplos de metaheurísticas:

- Algoritmos de Colonia de Hormigas, simulan el comportamiento que rige a las hormigas para encontrar los caminos más cortos, entre la fuente de comida y el hormiguero, es del tipo de algoritmos constructivos; esto quiere decir que cada hormiga construye una solución al problema recorriendo un grafo de construcción. El grafo tiene asociada información heurística que mide la preferencia de moverse entre los nodos e información de los rastros de feromonas artificiales que mide la deseabilidad aprendida de moverse entre los nodos del grafo (9).
- Algoritmo de Búsqueda Tabú, son metaheurísticas de búsqueda local que buscan la optimalidad global a través de procedimientos heurísticos, estos tienen como filosofía derivar y explotar una colección de estrategias inteligentes para la resolución de problemas, la clasificación de las estrategias inteligentes se la realiza a través de procesos que incorporan memoria adaptativa y exploración responsiva. La memoria adaptativa implementa procedimientos eficaces y eficientes en el espacio de soluciones, mientras que la exploración responsiva parte de la suposición de que una mala elección estratégica puede proporcionar más pistas útiles que una buena elección realizada al azar (10).

- Algoritmo Recocido Simulado, este tipo de metaheurística al igual que la búsqueda Tabú permite al proceso de búsqueda escapar de un óptimo local, lo que significa enfocarse en los máximos globales, dado que éstos pueden encontrarse en cualquier sitio dentro de una región factible. Se le otorga mayor importancia a dar pasos en direcciones aleatorias, claro está, rechazando oportunamente los pasos que buscan valores contrario a los máximos globales, buscando con ello explorar tantas regiones factible como sea posible (11).
- Algoritmos Genéticos, simulan la teoría de la evolución natural de los seres vivos para resolver los problemas de optimización y búsqueda, en ese sentido el proceso arranca con una población inicial de la cual se seleccionan los mejores individuos para su reproducción dando como resultado generaciones de individuos mejor adaptados que las generaciones anteriores (12). Este proceso evolutivo le permite actuar sobre diversas zonas factibles y evolucionar de manera gradual hacia las mejores soluciones factibles (11).

En particular para nuestro problema, la aplicación del VRP con alguna de las variantes antes indicadas, permitirá obtener rutas óptimas en los recorridos de cada uno de los vehículos, se busca así en la función objetivo minimizar el tiempo total recorrido, que resultará en reducir los costos operativos y aumentar el número de visitas semanales para cubrir un potencial incremento del número de áreas verdes supervisadas.

La revisión de la literatura permite determinar la importancia del uso de modelos de optimización para la solución de problemas de diseños de rutas óptimas, partiendo de un VRP tradicional donde se cuenta con una flota de vehículos en la repartición de productos a clientes que están distribuidos geográficamente con demandas conocidas y al costo mínimo y cuyo objetivo se centra en la entrega de productos, luego de esto el VRP tradicional evoluciona agregando algunas restricciones, los resultados parten de una solución factible muy buena que nos proporciona una heurística pero que no necesariamente es una solución óptima, y, continúa mediante la aplicación de una metaheurística a través de la cual se puede conseguir una estructura general con ciertos criterios estratégicos que permitan alcanzar una solución más cercana a la óptima, es sin

duda la aplicación que estamos y que permitiría alcanzar una solución óptima en este problema.

## **2.2 METODOLOGÍAS DE SOLUCIÓN PARA EL PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS.**

### **2.2.1 EL PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON VENTANAS DE TIEMPO CVRPTW**

El problema de ruteo de vehículos con capacidad limitada y ventanas de tiempo (CVRPTW), es una variante del problema básico (VRP) y tiene como objetivo diseñar a un mínimo costo las rutas de entrega desde un solo depósito hasta un conjunto de clientes geográficamente distribuidos, en donde los vehículos tienen una capacidad homogénea y los clientes imponen un horario de servicio permitido, tanto para el tiempo de arribo del vehículo y el tiempo de servicio o demora para recibir la mercancía o recibir un servicio.

Para dar solución al problema de ruteo de vehículos con capacidad limitada y ventanas de tiempo (CVRPTW), se suele emplear desde técnicas exactas que pueden llegar a reportar soluciones óptimas en problemas con un reducido conjunto de clientes, hasta técnicas heurísticas y metaheurísticas que pueden llegar a soluciones cercanas al óptimo en problemas de gran magnitud.

En la literatura se reporta que los métodos exactos permiten resolver problemas de hasta 50 clientes aproximadamente, este tipo de problemas se resuelven con esquemas de ramificación y poda o acotación, Branch&Bound (13), éste algoritmo construye un árbol de soluciones con cada una de las ramas y verifica cuando una de las soluciones ya no es óptima y la descarta (poda), por ejemplo si una rama hijo tiene un costo mayor o igual a su rama padre, entonces esta rama debe ser eliminado para evitar el consumo inútil de recursos.

En cambio, las técnicas heurísticas son procedimientos simples, no suelen encontrar una solución óptima, pero si una buena solución a través de la exploración limitada del espacio de soluciones. Las soluciones son aceptables y la complejidad

algorítmica es relativamente baja. Los algoritmos que se utilizan son los constructivos, de búsqueda local y de dos fases.

Por otro lado, las técnicas metaheurísticas son procedimientos de mayor complejidad, que utilizan por lo general, métodos de búsqueda local y mejora, y dan unas mejores soluciones que las heurísticas clásicas; considerando que la exploración del espacio de soluciones que éstas hacen, es más amplio, lo que hace incurrir en mayor tiempo de ejecución y por tanto un aumento en el costo computacional. Los algoritmos de enjambre, colonia de hormigas, evolutivos, búsqueda dispersa, búsqueda tabú y sistemas inmunes artificiales se aplican a estas técnicas.

Existe en la literatura revisada una recopilación de técnicas exactas de solución para los problemas de ruteo de vehículos, según se señala en (14); pese a esto, los problemas de mediana o gran dimensión resultan imposibles de resolver de manera exacta en tiempo polinomial, por lo que el VRP es del tipo NP difícil (12); según la teoría de complejidad computacional, donde no es posible alcanzar una solución óptima, y dependiendo de las variables y/o características de los clientes (número de éstas: depósitos, productos a transportarse o servicio que se ofrezca, etc.); se necesitará de un tratamiento especial al momento de diseñar la metodología de resolución del problema, de manera que se aproxime lo mejor posible al óptimo.

## **2.2.2 ALGORITMOS GENÉTICOS**

Los Algoritmos genéticos fueron desarrollados en los años setenta por John Henry Holland de la Universidad de Michigan (15), basados en los principios de evolución natural (supervivencia del más apto), los algoritmos genéticos son métodos robustos de búsqueda que imitan el desarrollo de las especies de manera evolutiva, adaptándose a su ambiente, simulando con ello principios de la teoría de selección natural de Darwin (16).

Según lo indicado por (12) en general los algoritmos genéticos interactúan sobre una representación de las soluciones éstas pueden ser vectores, matrices o árboles, que a su vez operan sobre una población  $P$  de soluciones codificadas a los cual se los conoce como individuos. Cada individuo  $i \in P$  debe tener definida una función de fitness  $f(i)$

de tal forma que si el número de fitness es mayor, la solución que este incorpora también es mejor.

Cabe indicar que durante este proceso se aplican operadores evolutivos los cuales combinan y modifican a los individuos de la población, dando origen con ello a una nueva. Estos operadores evolutivos interactúan en la selección, cruzamiento y mutación de la población.

Los operadores de *Selección* deciden cuáles son los individuos más adaptados, cuales sobreviven, y cuáles son los menos aptos, que serían descartados, generando con ello una población intermedia. Estos operadores de *Selección* son por lo general probabilísticos y suelen privilegiar a los individuos con mayor fitness en la población (12).

Una vez determinada la población con los individuos más aptos, se aplica con varias frecuencias el operador de *cruzamiento* el cual tiene como objetivo el intercambio de cadenas de bits entre los cromosomas padres, este actúa sobre la población combinando los individuos de tal forma que se genera con ello una nueva población (12).

Según (17) es importante mantener los ratios de cruzamiento, pues una tasa elevada de cruzamiento puede originar que padres buenos ya seleccionados puedan perderse.

Los operadores de *mutación* por su parte actúan sobre algunos individuos de la población realizando modificaciones sobre éstos, introduciendo perturbaciones aleatorias en el proceso de búsqueda, con ello se busca introducir diversidad en poblaciones homogéneas mejorando la probabilidad de mutación, manteniendo con ello una población aceptable, como se puede ver en (12), y (17).

### **2.2.3 ALGORITMOS GENÉTICOS PARA TSP, VRP Y VRPTW**

#### **TSP**

Los algoritmos genéticos en los problemas de TSP han sido ampliamente utilizados por su robustez, flexibilidad y la versatilidad que estos tienen para resolver los problemas combinatorios y de optimización a gran escala, como se ve en (18). El

bosquejo de codificación natural para el TSP representa a la solución como una secuencia de nodos, es decir, una permutación de  $(1, \dots, n)$ . Los operadores de cruzamiento y mutación presentados en la sección anterior pueden generar  $n$ -úplas (valores de una variable) que no sean permutaciones. Por lo que, es importante definir operadores de cruzamiento y mutación para que mantengan la codificación, como se puede ver en (12) y (19).

### **VRP**

La aplicación en VRP actúa directamente sobre las soluciones. El cruzar dos soluciones  $p_1$  y  $p_2$ , se toma una sub-ruta  $r=(v_1, \dots, v_k)$  de  $p_1$  (al tratarse de una sub-ruta, no significa que se cumpla que  $v_1 = 0$  y  $v_k = 0$ ) y se determina el cliente  $w_j$  más cercano a  $v_1$  que no está en  $r$ . Si la ruta a la que pertenece  $w$  en la solución  $p_2$  es  $r' = (0, w_1, \dots, w_j, w_{j+1}, \dots, 0)$  entonces ésta se reemplaza por  $(0, w_1, \dots, w_j, v_1, \dots, v_k, w_{j+1}, \dots, 0)$ . Esto quiere decir, se inserta  $r$  en  $r'$  a continuación de  $w$ . Si esta ruta no fuera factible, se particiona en tantas rutas factibles como sea necesario. Con esto se genera un hijo, siendo el otro hijo una copia de  $p_1$  (12).

En este caso se utilizan cuatro operadores de mutación: el primero intercambia la posición de dos clientes en una ruta, el segundo invierte el orden de una ruta, el tercero re-insertar un cliente en una ruta diferente a la que pertenece y como último selecciona una sub-ruta y la inserta en otro lugar de la solución. Los últimos dos operadores pueden generar rutas nuevas o eliminar rutas, mientras que los dos primeros mantienen la cantidad de rutas de la solución, como se puede ver en (12) y (20).

### **VRPTW**

Los algoritmos genéticos para VRPTW utilizan métodos de asignación primero y rutear después, tal es el caso del Algoritmo de Gideon citado por (12) utiliza esta técnica a través de la cual los clusters se generan mediante la ubicación de  $K$  “puntos semilla” en el plano. Desde el depósito se trazan semirrectas hacia cada punto semilla, definiendo sectores que particionan al conjunto de clientes en clusters. Es ahí donde el Algoritmo Gideon determina la mejor ubicación de los puntos semilla, los cuales se codifican utilizando 5 bits. Un vector de  $5K$  bits representa la ubicación de los  $K$  puntos semilla, lo cual es desarrollado en (12) y (20).

Para valorar el fitness<sup>3</sup> de un individuo se genera una ruta para cada uno de sus clusters a través de un algoritmo simple de inserción para el TSP. Se permite que las rutas sean no factibles (12).

Finalmente se realiza una búsqueda local sobre la mejor solución encontrada, utilizando los  $\lambda$ -intercambios definidos por el Algoritmo de Osman<sup>4</sup>. El resultado de la nueva solución es utilizada para modificar las coordenadas polares de cada cliente, de tal forma que los clientes consecutivos en una ruta queden consecutivos si se ordenaran por su ángulo en las nuevas coordenadas polares. Con esas nuevas coordenadas se vuelve a ejecutar el Algoritmo Genético y el proceso continúa por algunas iteraciones, como se observa en (12).

---

<sup>3</sup>El fitness de un individuo es el costo de las rutas obtenidas para cada cluster, más términos que penalizan las violaciones a las restricciones de capacidad, largo máximo de cada ruta y ventanas de tiempo (12).

<sup>4</sup> Las vecinas de una solución se obtienen mediante intercambio de clientes entre pares de rutas (12)

## **CAPÍTULO III**

### **3 IMPLEMENTACIÓN INFORMÁTICA DEL MODELO DE ENRUTAMIENTO VEHICULAR APLICADO AL PLAN DE VISITAS DE INSPECCIÓN DE ÁREAS VERDES.**

#### **3.1 OPTIMIZADORES DE PROPÓSITO GENERAL PARA RESOLVER EL PROBLEMA DEL VRP.**

Como se presenta en (21), existen procedimientos basados en metaheurísticas que pueden usarse para buscar en el espacio de soluciones a problemas de optimización. A éstos se les conoce como procedimientos de caja negra, dado que no están personalizados para resolver un problema específico y por tanto son generales. Se les llama también algoritmos de propósito general.

Al resolver un problema de optimización, una práctica común es desarrollar un método dependiente del contexto (es decir un procedimiento que explote explícitamente la estructura y propiedades del problema para conducir una búsqueda eficiente). Muchas implementaciones de heurísticas y metaheurísticas están basadas en este paradigma, es decir, desarrollan un método especializado para un problema específico. El propósito de algunas investigaciones es lo contrario; es decir, crear procedimientos generales que permitan encontrar soluciones de calidad razonable para una amplia clase de problemas de optimización basados en un paradigma independiente del contexto, y es, bajo esta filosofía que se han desarrollado programas de software comercial relevantes que se han popularizado en los últimos años en esta área, algunos de éstos son:

- Solver Premium de Frontline Systems Inc. ([www.frontsys.com](http://www.frontsys.com))
- OptQuest de Opttek Systems Inc. ([www.opttek.com](http://www.opttek.com))
- Evolver de PalisadeCorporation ([www.palisade.com](http://www.palisade.com))

Para la resolución del problema objeto de estudio, el cual se ubica como un problema de enrutamiento vehicular, donde se pretende determinar un conjunto de rutas óptimas para que una flota de vehículos (que transportan supervisores), localizados en un depósito (la oficina), atiendan (tiempo de servicio empleado para supervisar las labores del contratista) a un conjunto de clientes (contratos/áreas verdes) distribuidos geográficamente, se utilizó los programas Evolver, usado para optimización determinística, y RISKOptimizer, que es su complemento para optimización con incertidumbre o estocástica.

A continuación se detalla las características y funcionalidades de estos dos programas para la ejecución de modelos de optimización.

### **3.1.1 EL OPTIMIZADOR DETERMINÍSTICO EVOLVER.**

Evolver es una herramienta de optimización de propósito general que usa algoritmos genéticos y está incluido en el paquete DecisionTools Suite de Palisade Corporation, que es un juego completo de programas para la toma de decisiones cuantitativas.

Su primera versión salió en 1990, y fue el primer software con algoritmos genéticos para PC's. Originalmente fue desarrollado por Axcelis, Inc. y luego vendido a Palisade Corporation, que realizó algunos cambios al producto. Este programa puede hallar soluciones óptimas para problemas que resultan "irresolubles" con optimizadores de resolución lineal y no lineal estándar, tal como se menciona en (22).

En este contexto se debería entender "solución óptima" sólo como una buena solución, aceptable para el usuario, y no como la mejor de las soluciones posibles para el problema.

El software de Evolver utiliza procedimientos basados en los métodos genéticos para resolver los problemas de optimización, encontrando la combinación óptima para las celdas ajustables que se definirán previamente en el Excel, las cuales se adaptan a las características del problema.

Para desarrollar el modelo en el Excel, cada grupo de celdas ajustables compartirá métodos de solución, tasa de cruce, tasa de mutación y operadores; particulares para cada grupo de variables.

Entre los métodos de solución que utiliza el Evolver para encontrar las mejores soluciones, se aprecian seis, los cuales se podrían diferenciar en dos grupos:

- Los primarios que serían los de receta, orden y agrupamiento, que son los más utilizados, y;
- Los descendientes, entre los cuales se mencionan al de Presupuesto, Proyecto y Calendarización.

Cada método de solución en el grupo de los primarios usan algoritmos distintos, los otros tres (Presupuesto, Proyecto y Calendarización) son descendientes de los primeros tres, añadiendo restricciones adicionales (22).

A continuación se describe la función de cada método de solución:

- Receta (Recipe): Se usa cuando se posee un conjunto de variables que puedan cambiar independientemente. Este método tiene restricciones de valores mínimos y máximos.
- Orden (Order): Es usado cuando se desea ordenar una lista de tareas y/o elementos.
- Agrupamiento (Grouping): Se usa cuando se requiere concentrar distintas variables y/o características determinadas en grupos.
- Presupuesto (Budget): Utiliza el algoritmo de receta, pero con la restricción de que el valor total debe ser un número determinado.
- Proyecto (Project): Es similar al método de solución orden, pero considerando restricciones de que unos elementos deben preceder a otros.
- Calendarización (Schedule): Este método de solución utiliza el algoritmo de Agrupamiento, pero asigna elementos a bloques de tiempo mientras satisface las restricciones.

En este trabajo los modelos fueron desarrollados con el método de solución “orden y agrupamiento”, ya que el optimizador busca el orden adecuado para realizar las visitas agrupándolas a cada vehículo.

Tal como se mencionó en el Capítulo 2, los algoritmos genéticos poseen parámetros de Cruce  $c$  y de Mutación  $m$ , éstos influyen en el alcance de la búsqueda y son utilizados para crear nuevos hijos dentro del algoritmo.

Las configuraciones ya determinadas en el Evolver se dan en tasa de cruce 0.5 y tasa de mutación 0.1. Estos parámetros pueden ser usados en cualquier problema, pero cuando aumenta el número de variables de decisión y la incertidumbre, el usuario puede modificar estos parámetros para lograr la convergencia en un tiempo razonable.

La tasa de cruce  $c$  significa que el valor de la descendencia en una posición determinada tendrá una probabilidad  $c$  de que provenga del primer padre y  $(1-c)$  de que provenga del segundo padre.

Para la resolución de nuestro problema se utilizó una tasa de cruce de 0.5 lo que significaría que el descendiente contiene aproximadamente el 50% de sus valores de variable de un padre y el resto de los valores del otro padre.

La tasa de mutación  $m$  refleja la probabilidad de que la descendencia contenga algunos valores aleatorios. Para nuestro problema se usó una tasa de mutación de 0.05, considerando el tiempo de corrida del modelo para encontrar una mejor solución, el cual a lo largo de ocho horas de corrida da una mejor solución.

Durante la optimización, Evolver genera algunas soluciones de prueba y algoritmos genéticos para el mejoramiento de los resultados, que mediante el modelo en una hoja de cálculo de Excel, se pueden generar las iteraciones que permitirán determinar los organismos aptos para sobrevivir.

### **3.1.2 EL OPTIMIZADOR CON INCERTIDUMBRE RISK OPTIMIZER**

Riskoptimizer es un optimizador que permite resolver problemas de optimización estocásticos, a través de la incorporación de la incertidumbre en las variables de entrada; en el modelo propuesto en esencia se combina a EVOLVER (como optimizador) y @RISK (como simulador).

La filosofía de RISKOPTIMIZER es maximizar el valor esperado del objetivo sobre todas las posibles realizaciones de los parámetros con incertidumbre. Típicamente, el objetivo es la utilidad esperada, o el costo esperado. Algunas veces un objetivo alternativo es la minimización de costos, la desviación típica de una variable, etc.

Este programa se ha popularizado gracias a la flexibilidad que presenta para la modelización; esto básicamente por el uso de Microsoft Excel, como el ambiente en el cual se construye el modelo y que es de fácil accesibilidad y dominio para los usuarios, identificando las celdas cambiantes que serán parte del modelo; e incorporando la incertidumbre, para nuestro caso en los tiempos de servicio, de ahí que últimamente han aparecido artículos en los que se lo usa para la resolución de problemas reales.

## **3.2 ESTIMACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO**

Para la estimación de los parámetros a ser utilizados en el modelo matemático con incertidumbre que ha sido desarrollado para dar una mejor solución al Plan de Visitas, se ha considerado variables de Costos, Tiempos, Distancias, Asignación y Capacidad, las cuales deben ser determinadas de tal manera que expresen la problemática por sí mismas. Adicionalmente a esto; una correcta estimación y determinación de éstas, traerá consigo beneficios, como la aplicabilidad de la solución de forma práctica y en términos apropiados de acuerdo al giro del negocio al cual se le está dando la solución matemática.

Finalmente, una vez obtenidos los resultados óptimos las variables deben ser útiles para lograr dar mayor información, en torno a la solución óptima. Por ejemplo:

- La comparación de la situación actual y la situación deseada óptima.
- Análisis de la capacidad instalada en contraste con la capacidad máxima a ser utilizada para optimizar los recursos.
- Ahorros en tiempos que permitirán utilizar el tiempo sobrante en nuevas actividades que agreguen valor a la organización.

Para la función de costos que se espera minimizar en el modelo intervienen los siguientes componentes:

- El precio del combustible, el cual ha sido tomado como referencia de los precios oficiales de la gasolina a la fecha, asociados al consumo diario de cada vehículo. Para el modelo se ha considerado un valor de \$10.00 (diez dólares) como costo fijo del consumo diario de gasolina para cada vehículo (camioneta en la que es transportado el supervisor). De existir una disminución de días en que se realicen la totalidad de las visitas a los grupos de áreas verdes, se podría determinar el ahorro en el consumo de combustibles.

Una cifra expresada en semanas, facilitaría el desembolso administrativo programado por los supervisores, y expresado en meses sería de utilidad para el manejo del flujo de gastos por parte del área Financiera.

- Los costos incurridos en eventualidades menores y/o mantenimiento, es otro rubro que se ha considerado en el modelo, dado que éstos se encuentran asociados al uso diario de los vehículos. De darse una solución que disminuya el número de días en que estos vehículos son utilizados semanalmente, se verá reflejado en el ahorro en este rubro de eventualidades menores. En el modelo se ha contemplado un valor de \$5 diarios.

Es importante mencionar que al recorrer menos kilómetros para supervisar la totalidad de grupos de áreas la empresa verá en el corto plazo un ahorro en costos de mantenimiento mecánico, posibles siniestros por accidentes al tener menor exposición y a largo plazo el ahorro de sustitución de partes y piezas, mantenimiento mayores o depreciación.

- Mediante la recopilación de datos se encontró una particularidad en los costos generados por el pago al conductor y al coordinador de transporte, que en primera instancia son declarados como costos fijos, dado que son rubros considerados en la nómina de la compañía; sin embargo con la solución óptima, que permitiría minimizar los costos asociados al plan de visitas de las áreas verdes; por ejemplo utilizar menos días de la semana para visitar la totalidad de áreas, puede verse reflejado en el tiempo que éstos dedican a sus actividades; para el caso del primero, conducir el vehículo que va a realizar una visita a un área determinada y para el segundo, el tiempo destinado para el seguimiento y monitoreo del Plan de visitas semanal y que pudiera ser reasignado a otras actividades. Así el centro de costo del proyecto de fiscalización o supervisión de áreas verdes, se verá disminuido, pudiendo ésta capacidad liberada ser utilizada en otros proyectos de la empresa. Maximizando así el uso de los recursos disponibles y su utilización en nuevas áreas que se incorporen al proyecto.

Referente a los tiempos, el modelo considera lo siguiente:

- Tiempo en que debe efectuar el recorrido o de ocupación del vehículo, que como se mencionó en el Capítulo 1, es de máximo cuatro horas, tiempo en el cual el supervisor puede utilizar el vehículo diariamente; esto debido a que las actividades del Supervisor se dividen en cuatro horas de supervisión o trabajo de campo y cuatro horas de tareas administrativas o trabajo en oficina, en donde se elaboran informes de actividades y aprobación de planillas (documentos que incluye labores realizadas por los contratistas), para posterior pago. Para efectos de calcular el tiempo total de recorrido de cada vehículo se considera en el modelo el tiempo en minutos, que sería igual a 240 minutos.
- Distancias (en minutos), estos datos se refieren al tiempo entre dos puntos o minutos que toma recorrer entre un área y otra.

La recopilación de éstos fue mediante la herramienta de Google Maps, en donde se contempló la diferencia de tiempos que se debían recorrer entre cada área cuando las vías usadas eran unidireccionales o bidireccionales. Al realizar la medición la herramienta Google Maps consideró una velocidad promedio de 35km/h. Los datos se resumen en una matriz de tiempos de trayecto que contiene 52 grupos de áreas o 52 nodos, más el depósito u oficina de donde

parten los supervisores en los vehículos asignados. Estos pueden apreciarse en Anexo 2.

- Tiempo de servicio, el cual fue estimado luego de haber levantado datos mediante una encuesta realizada a los supervisores de áreas, a los que se le preguntaba el menor tiempo que hayan utilizado para efectuar la supervisión, el tiempo más frecuente y el tiempo máximo que le ha tomado realizar su labor de supervisión en un área verde.

Luego de la recopilación de datos, se realizó el análisis para determinar el ajuste de distribución de probabilidad, de manera que sea posible adicionar estos tiempos de servicio a los tiempos de recorrido, resultando así la matriz de distancias que será utilizada en el modelo.

Otros datos de interés en el modelo son los siguientes: La capacidad del vehículo, que es de 3 ocupantes; Número de áreas a ser visitadas en la semana: 52 áreas; Número mínimo de salidas del supervisor en la semana: 2 salidas y Número máximo de salidas del supervisor en la semana: 4 salidas.

Se determinaron además las variables dicotómicas para decidir si un área es seleccionada para ser servida por un vehículo. En otras palabras, éstas variables binarias  $x_{ik}$ , servirán para determinar si el arco  $(i, j)$  se utiliza o no en la solución. Así también entre las variables de estado se determinó si un supervisor  $f$  va en el vehículo  $k$  y si un área  $i$  es visitada por el vehículo  $k$ .

En las siguientes secciones se detalla la metodología usada para la obtención de matrices de distancias y tiempos de servicios, así como el modelo de optimización propuesto, que incluye la función objetivo y respectivas restricciones.

### **3.2.1 MATRIZ DE DISTANCIAS Y TIEMPOS DE SERVICIO**

Para la obtención de la matriz de tiempos de trayecto o matriz de distancias, éstas se determinaron de acuerdo a los tiempos en minutos otorgados por Google Maps, de un nodo a otro, en el que se considera una velocidad promedio de 35 km. por hora y la direccionalidad vial, es decir, las vías unidireccionales y bidireccionales de la ciudad de Guayaquil.

La recopilación de estos datos incluye 52 puntos o nodos (cada área verde a ser visitada), y un punto o nodo que corresponde al depósito u oficina de donde salen los supervisores. Así la matriz de distancias, expresadas en minutos de recorrido de punto  $i$  a un punto  $j$ , corresponde a una Matriz  $53 \times 53$  ( $M_{53 \times 53}$ )

En la mencionada matriz de tiempos de trayecto o matriz de distancias se han adicionado los tiempos servicio, que hace referencia al total de minutos empleados en realizar la actividad de supervisión en cada área verde. Dado que, en la práctica los tiempos de las actividades están sujetos a la variabilidad en las duraciones; la estimación de éstos tiempos de servicio o tiempo de duración se lo hizo mediante el levantamiento de datos a partir de la realización de una encuesta a los supervisores, este tipo de variable tiene las características adecuadas para ser modelizada por medio de una distribución Pert.

La distribución Pert, es usualmente empleada en problemas de simulación cuando se requiere encontrar solución a problemas reales, pero con poca información; tal que, hoy en día, es una mejor alternativa a la distribución triangular, considerando la forma gaussiana de esta distribución, lo cual genera ventajas.

La distribución Pert otorga menor probabilidad en las colas inferiores que la distribución triangular. En cambio, para el caso de los valores alrededor del más probable, tendrá mayor probabilidad. Esto permite inclusive, mayor tolerancia en la estimación del valor más probable, lo que mejora la robustez del modelo utilizado.

Para poder observar el comportamiento de los datos, en este caso la duración de la actividad de supervisar los trabajos realizados por los contratistas, se estimaron los parámetros utilizando la herramienta @Risk, que es un software de análisis de riesgo, para ello, se definieron los valores mínimo, más probable y máximo, mediante la encuesta aplicada a los supervisores. Un ejemplo de uso de la distribución PERT es la descripción de la duración de una tarea en un modelo de gestión de un proyecto.

Además, ante la ausencia de una base de datos en donde se registren los tiempos exactos que duró la actividad, se puede modelar el comportamiento mediante este tipo de distribuciones.

Para la creación del modelo, el usuario únicamente debe conocer y definir los valores máximo, mínimo y más probable, tal como lo hace la distribución triangular.

Luego del levantamiento de datos mediante la encuesta se obtuvieron los siguientes valores:

- Tiempo mínimo de supervisión por área. (15 minutos)
- Tiempo máximo de supervisión por área. (30 minutos)
- Tiempo promedio de supervisión por área. (45 minutos)

Tal como se mencionó en líneas anteriores, estos valores se adicionarán a la matriz de distancias o matriz de tiempos de trayecto, considerando que en el planteamiento del modelo existe una matriz de tiempos de servicios que simulará valores, en base a la distribución de probabilidad Pert.

En la siguiente sección se muestran las restricciones que han sido consideradas en el modelo propuesto.

### **3.2.2 RESTRICCIONES CONSIDERADAS EN EL MODELO DE TRANSPORTE.**

En este estudio se consideraron las siguientes restricciones para el modelo de optimización:

- Capacidad del vehículo: Se refiere al número de supervisores que pueden ir en el vehículo. Para el modelo se ha colocado que a lo mucho deben viajar 3 supervisores en un vehículo.
- Jornada laboral/Tiempo de recorrido: Se refiere al número de horas destinadas por los supervisores para realizar las visitas a las áreas. Considerando el escenario actual, éstos deben emplear cuatro horas para visitas y cuatro horas en oficina para elaboración de reportes de novedades. Para el modelo fue expresado en minutos, es decir 240 minutos.
- Visitas semanales: Se refiere al rango de días en que los supervisores deben cumplir con las visitas a las áreas semanalmente. Este rango será de dos a cuatro veces por semana.
- Área-Vehículo: Esta restricción significa que cada área debe ser visitada por un vehículo, esto con la finalidad de que una misma área no sea visitada por más de un vehículo.
- Demás que involucren el cumplimiento de las anteriores.

En la Tabla 11, se resumen las restricciones antes mencionadas.

**Tabla 11. - Restricciones del modelo**

<b>Capacidad del Vehículo</b>	$\leq 3$
<b>Tiempo de recorrido</b>	240 minutos
<b>Visitas Semanales</b>	$2 \leq x \leq 4$
<b>Área-Vehículo</b>	$A \leq 1$

### **3.2.3 FUNCIÓN OBJETIVO**

Al encontrarnos frente a un modelo de enrutamiento vehicular, esto involucra un problema combinatorio de gran complejidad, el cual incorporará todas las restricciones mencionadas, en donde la función objetivo es el costo total de la solución, en donde el supuesto es determinar el número mínimo de vehículos requeridos para visitar la totalidad de áreas y el número de días en la semana en que se realizarían estas visitas. Una disminución de éstos, influiría en la disminución de los costos asociados al Plan de visitas Actual, disminuyendo los costos asociados a dicho Plan.

El modelo matemático de optimización para determinar el número óptimo de vehículos necesarios para cumplir con las actividades de los contratos consideró un costo fijo por utilización de un vehículo, más el costo de combustible por el consumo promedio del recorrido a cumplir por cada vehículo en su ruta, por lo cual se presenta los siguientes parámetros y variables, los cuales se detallan a continuación:

#### **Índices**

- Sea  $i$  el área a ser supervisada para el mantenimiento integral de las áreas verdes, la cual representa a cualquier punto de origen o destino.  $i$  varía de 1 a 52
- El índice  $k$  identifica el vehículo motorizado a ser utilizado.  $i$  varía de 1 a 20
- Sea  $f$  el fiscalizador, quien supervisará el mantenimiento de las áreas verdes.  $i$  varía de 1 a 10
- Sea  $Lu$  vehículos destinados para el día lunes.
- Sea  $Ma$  vehículos destinados para el día martes.
- Sea  $Mi$  vehículos destinados para el día miércoles.
- Sea  $Ju$  vehículos destinados para el día jueves.
- Sea  $Vi$  vehículos destinados para el día viernes.

**Datos de entrada (Parámetros):**

- $T_{Max}$ , Tiempo máximo de ocupación o tiempo de recorrido del vehículo durante el día.(240 minutos)
- $T_{ij}$  Tiempo de viaje + tiempo de servicio desde la área  $i$  hacia la área  $j$ .(Matriz de Distancias-Matriz de tiempos de trayecto)
- $Areas_{if}$  Área que debe ser visitada por el fiscalizador  $f$ .
- $Cap$  Número máximo de fiscalizadores en un vehículo.
- $a$  y  $b$  Número mínimo y máximo de salidas de cada fiscalizador durante la semana.
- $Cost_k$  Costo asociado por utilizar el vehículo  $k$ .

**Variables de decisión:**

- $X_i^k \begin{cases} 1 & \text{Si la área } i \text{ es seleccionada para ser servida por el vehículo } k \\ 0 & \text{Sino} \end{cases}$

**Variables de estado:**

- $Comb_i^k$  Costo de combustible consumido por el vehículo  $k$  por visitar el área  $i$ .
- $F_f^k \begin{cases} 1 & \text{Si el fiscalizador } f \text{ va en el vehículo } k \\ 0 & \text{Sino} \end{cases}$
- $A_i^k \begin{cases} 1 & \text{Si el área } i \text{ es visitada por vehículo } k \\ 0 & \text{Sino} \end{cases}$
- $T_i^k$  Tiempo tomado por visitar el área  $i$  en el vehículo  $k$ .

El objetivo principal es minimizar los costos asociados al uso del vehículo más el costo por consumo del combustible.

**Modelo de Optimización:**

El modelo propuesto es un modelo de programación estocástica<sup>5</sup> y su formulación matemática es como sigue:

$$\mathbf{Min}z = \sum_{i,k} X_i^k * Comb_i^k + \sum_k Cost_k$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

*Tiempo máximo para efectuar las fiscalizaciones por vehículo.*

$$\sum_i X_i^k * T_i \leq TMax \quad ; \quad \forall_k$$

*Número de fiscalizadores que van dentro de un vehículo.*

$$\sum_{i,f} F_f^k \leq Cap \quad ; \quad \forall_k$$

*Número de salidas por cada fiscalizador.*

$$a \leq \sum_k X_i^k * F_f^k \leq b \quad ; \quad \forall_f$$

*Un fiscalizador en un día debe de ir en un solo vehículo.*

$$\sum_{k \in Lu} F_f^k \leq 1 \quad ; \quad \forall_f$$

$$\sum_{k \in Ma} F_f^k \leq 1 \quad ; \quad \forall_f$$

$$\sum_{k \in Mi} F_f^k \leq 1 \quad ; \quad \forall_f$$

$$\sum_{k \in Ju} F_f^k \leq 1 \quad ; \quad \forall_f$$

$$\sum_{k \in Vi} F_f^k \leq 1 \quad ; \quad \forall_f$$

*Cada área debe ser visitada por un solo vehículo.*

$$\sum_k A_i^k \leq 1 \quad ; \quad \forall_i$$

---

<sup>5</sup>Por la consideración aleatoria en las variables de demanda de viajes

### **3.2.4 RESULTADOS OBTENIDOS**

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos a partir de la aplicación de técnicas de optimización y simulación; de manera que se encuentre una mejor solución al problema objeto de estudio; que es el Plan de Visitas de Inspección en el servicio de mantenimiento de áreas verdes de la ciudad de Guayaquil, al que están sujetos los supervisores para fiscalizar las labores realizadas por los contratistas del mantenimiento integral de las áreas verdes.

Se presenta además el procedimiento para la ejecución del modelo de enrutamiento vehicular aplicado al Plan de Visitas mediante el software Evolver y Risk Optimizer. Finalmente se muestra la solución propuesta, luego de la implementación informática del modelo, con los respectivos análisis de costos comparativos asociados al Plan de visitas actual.

#### **3.2.4.1 PROCEDIMIENTO PARA EJECUTAR EL MODELO MATEMÁTICO EN EVOLVER Y/O RISK OPTIMIZER**

Seguido se mencionan los pasos a seguir para poder ejecutar el modelo matemático elaborado para encontrar una mejor solución:

1. Abrir el archivo de Excel donde se realice el modelo.
2. Determinar la matriz de tiempo de servicio y de trayecto.
3. Diseñar el calendario, en la cual el modelo asignará **1** al supervisor que realizará su labor el día  $i$ . Ver Figura 2.

Ejemplo para construir el calendario dentro de la hoja de excel. (Celda de Color Verde de la tabla)

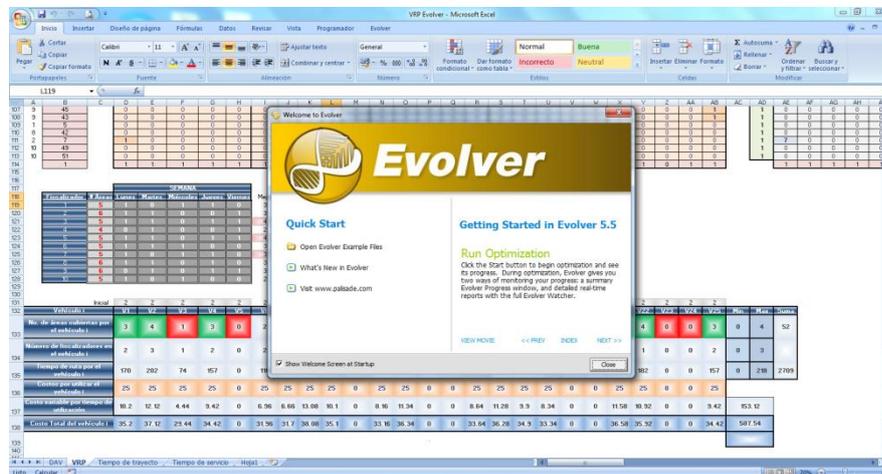
```
=+SUMA(SI(CONTAR.SI($CE$62:$CE$113;$B119)>0;1;0);SI(CONTAR.SI($CF$62:$CF$113;$B119)>0;1;0);SI(CONTAR.SI($CG$62:$CG$113;$B119)>0;1;0);SI(CONTAR.SI($CH$62:$CH$113;$B119)>0;1;0))
```

Figura 2.- Diseño Calendario

Fiscalizador	# Áreas	SEMANA				
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
1	5	1	0	1	1	0
2	6	1	1	0	0	1
3	5	1	1	0	1	1
4	4	0	1	0	0	1
5	5	1	1	0	1	1
6	5	1	1	1	0	0
7	5	1	0	1	1	0
8	6	1	1	0	1	0
9	6	0	1	0	1	1
10	5	1	0	1	0	0

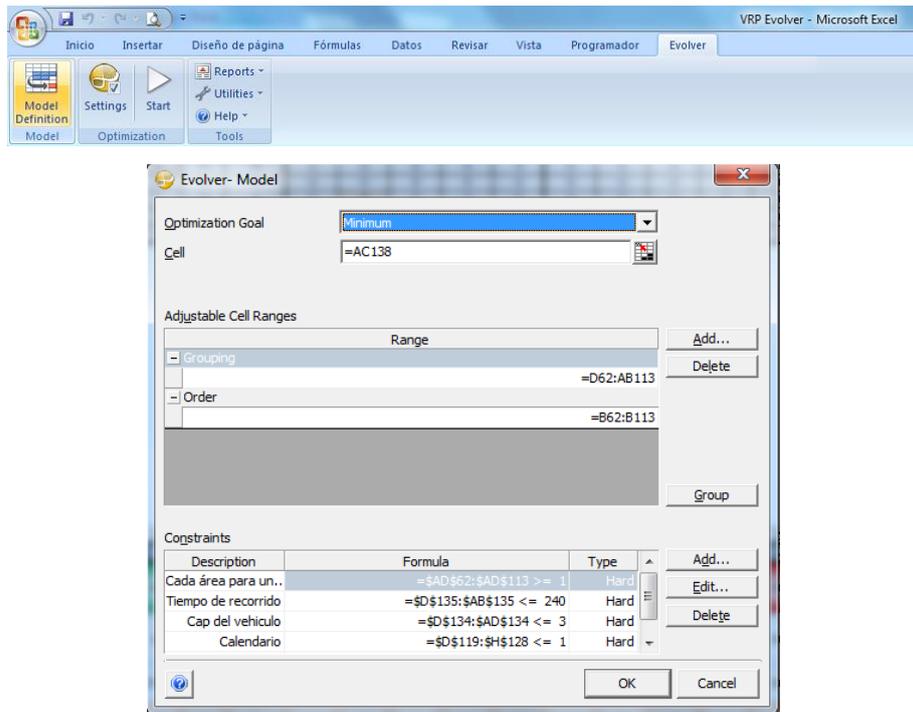
5 Una vez construido el diseño del calendario del plan de visitas en la Figura 2 se muestra en la Figura 3 la pantalla inicial del complemento de Evolver 5.5. para Excel a través del cual se correrá el optimizador.

Figura 3.- Pantalla de Inicio



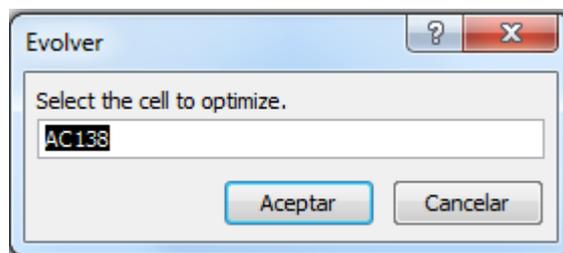
6. Seleccionar en la parte superior Evolver y posteriormente “Definir Modelo”, como se observa en la Figura 4.

**Figura 4.- Pantalla Definir Modelo**



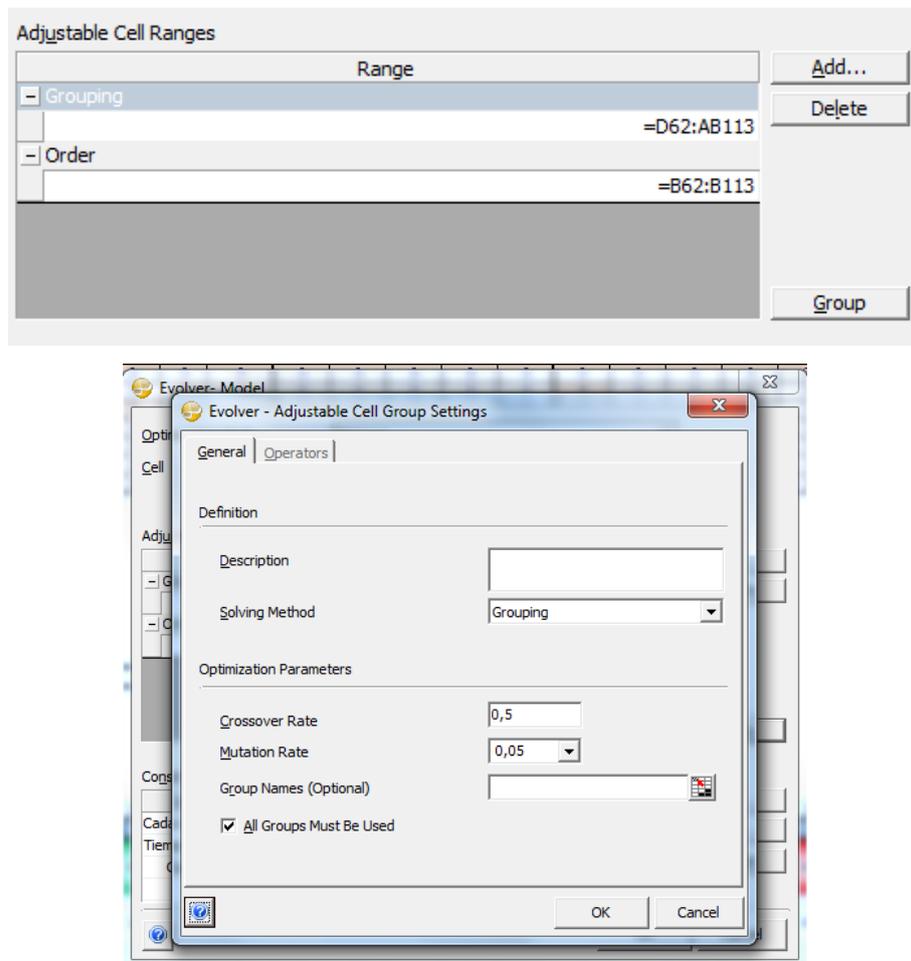
4. En la Figura 5, se observa la pantalla en donde se define la celda objetivo.

**Figura 5.- Pantalla "Definir Celda Objetivo"**



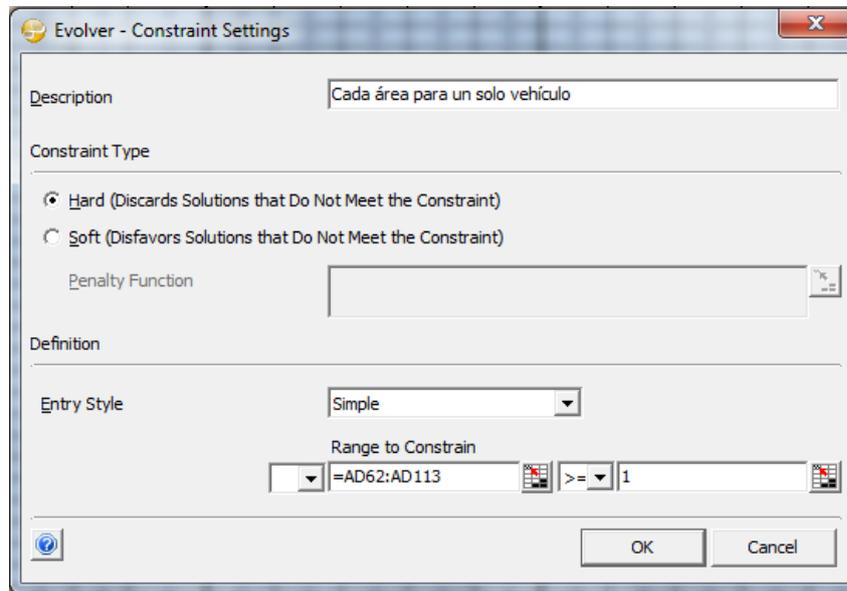
5. Definir celdas ajustables dentro del modelo, ver Figura 6.

**Figura 6.- Pantalla "Celdas ajustables"**



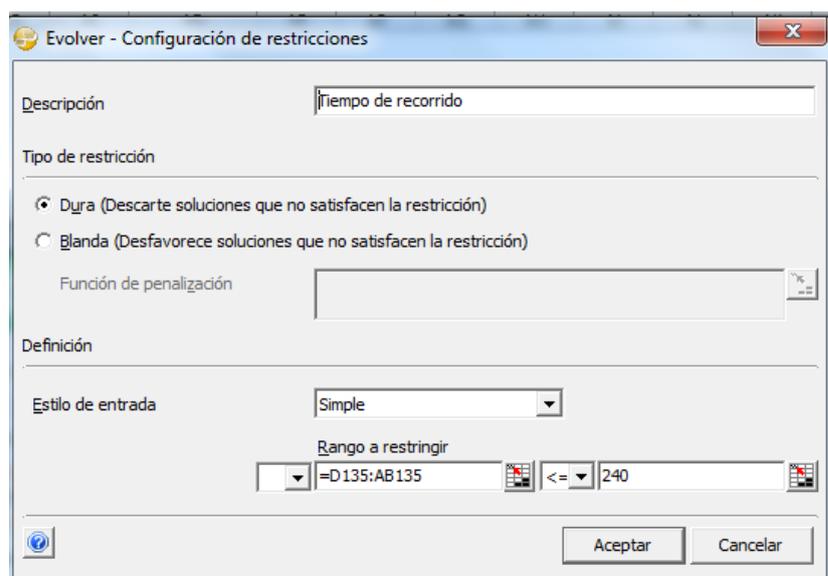
6. Definir restricciones.- En la Figura 7, se observa la restricción de que cada área debe ser visitada por un vehículo, esto con la finalidad de que una misma área no sea visitada por más de un vehículo.

**Figura 7.- Pantalla "Definir restricciones".- Cada área un vehículo**



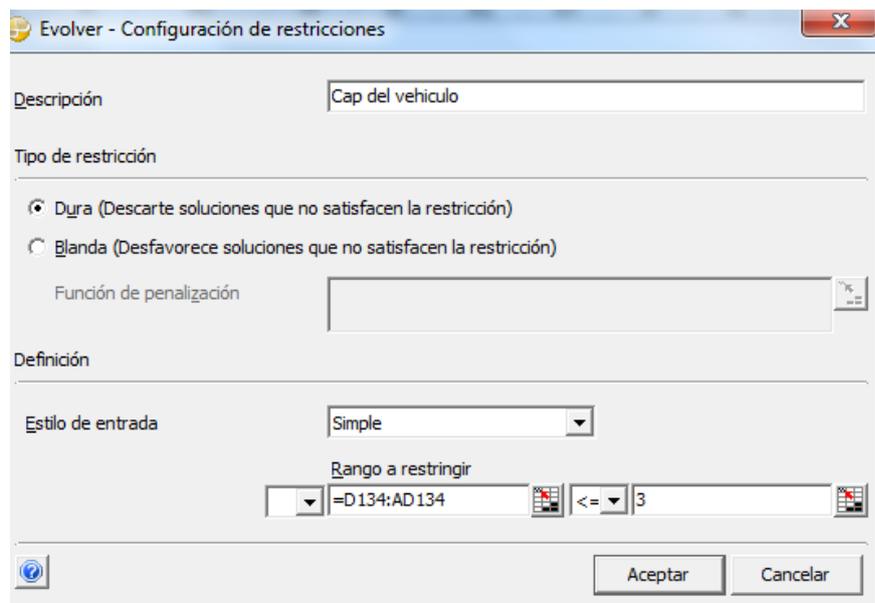
En la Figura 8 se hace referencia al número de horas destinadas por los supervisores para realizar las visitas a las áreas. Considerando que se emplean cuatro horas para visitas, en el modelo fue expresado en minutos.

**Figura 8.- Pantalla "Tiempo de recorrido"**



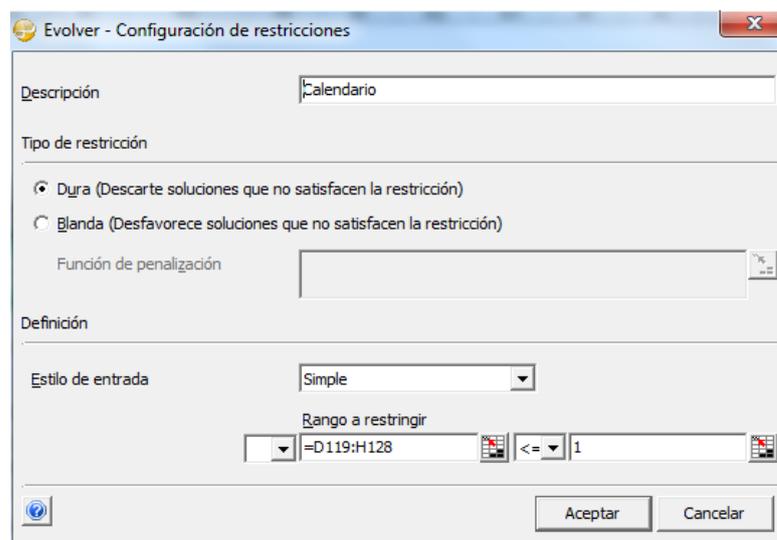
En la Figura 9 se observa la pantalla de la restricción referente a la capacidad del vehículo, es decir el número de supervisores que pueden ir en el vehículo. Para el modelo se ha definido que deben viajar un número menor igual a 3 supervisores en un mismo vehículo.

**Figura 9.- Pantalla "Capacidad del Vehículo"**



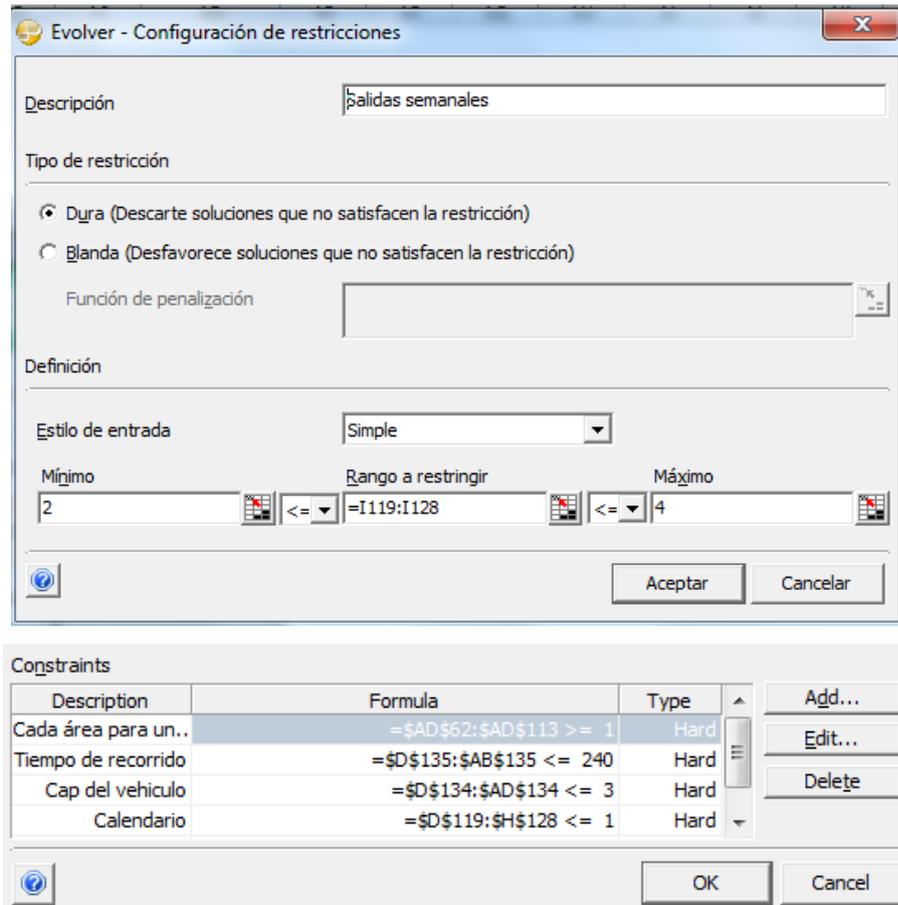
La restricción a través de la cual se programa el día en que el Supervisor visitará el área, esto de acuerdo a lo indicado en el punto 3 de esta sección, se observa en la Figura 10.

**Figura 10.- Pantalla "Calendario"**



La última restricción contemplada en el modelo, se refiere al número de salidas mínimas que deberá cumplir el supervisor durante una misma semana, el cual para este caso se configuró con un mínimo de dos y un máximo de cuatro salidas, lo cual permitirá el seguimiento oportuno a las actividades planificadas durante la semana. Esto puede observarse en la Figura 11.

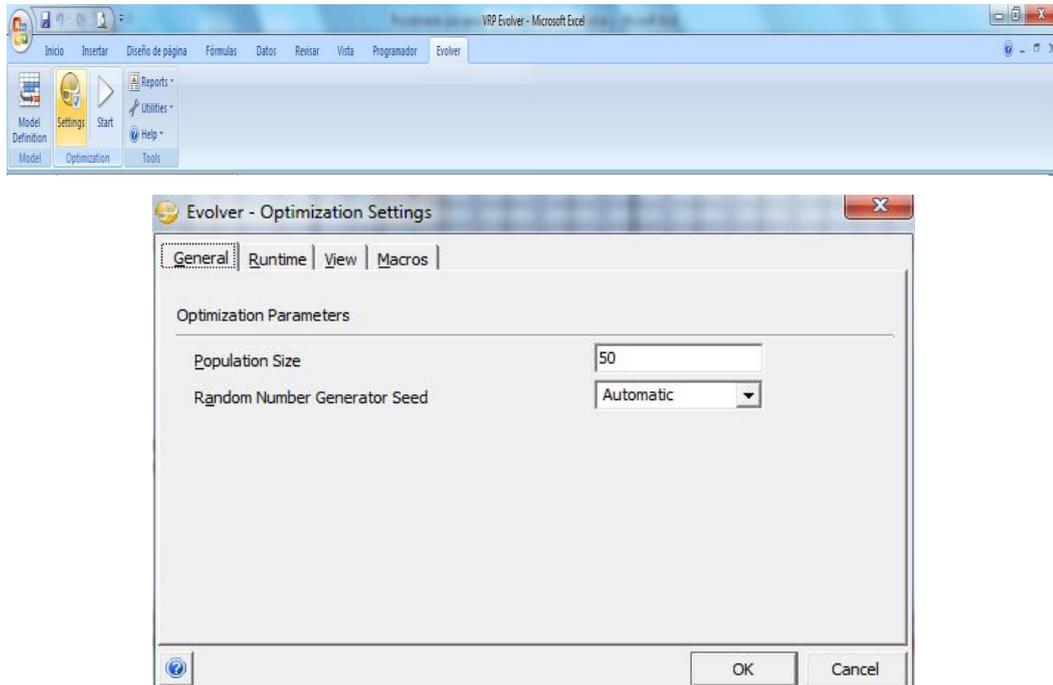
**Figura 11.- Pantalla "Salidas Semanales"**



## 7. Configurar el modelo

En la configuración del modelo como tal, definimos el tamaño de la población a evaluar en este proceso. Ver Figura 12.

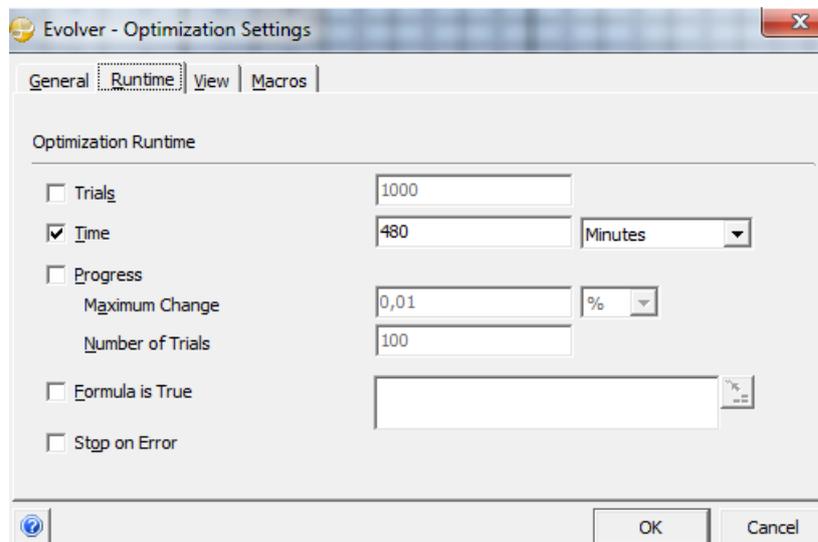
**Figura 12.- Pantalla "Configuración del modelo"**



8. Asignar tiempo de ejecución

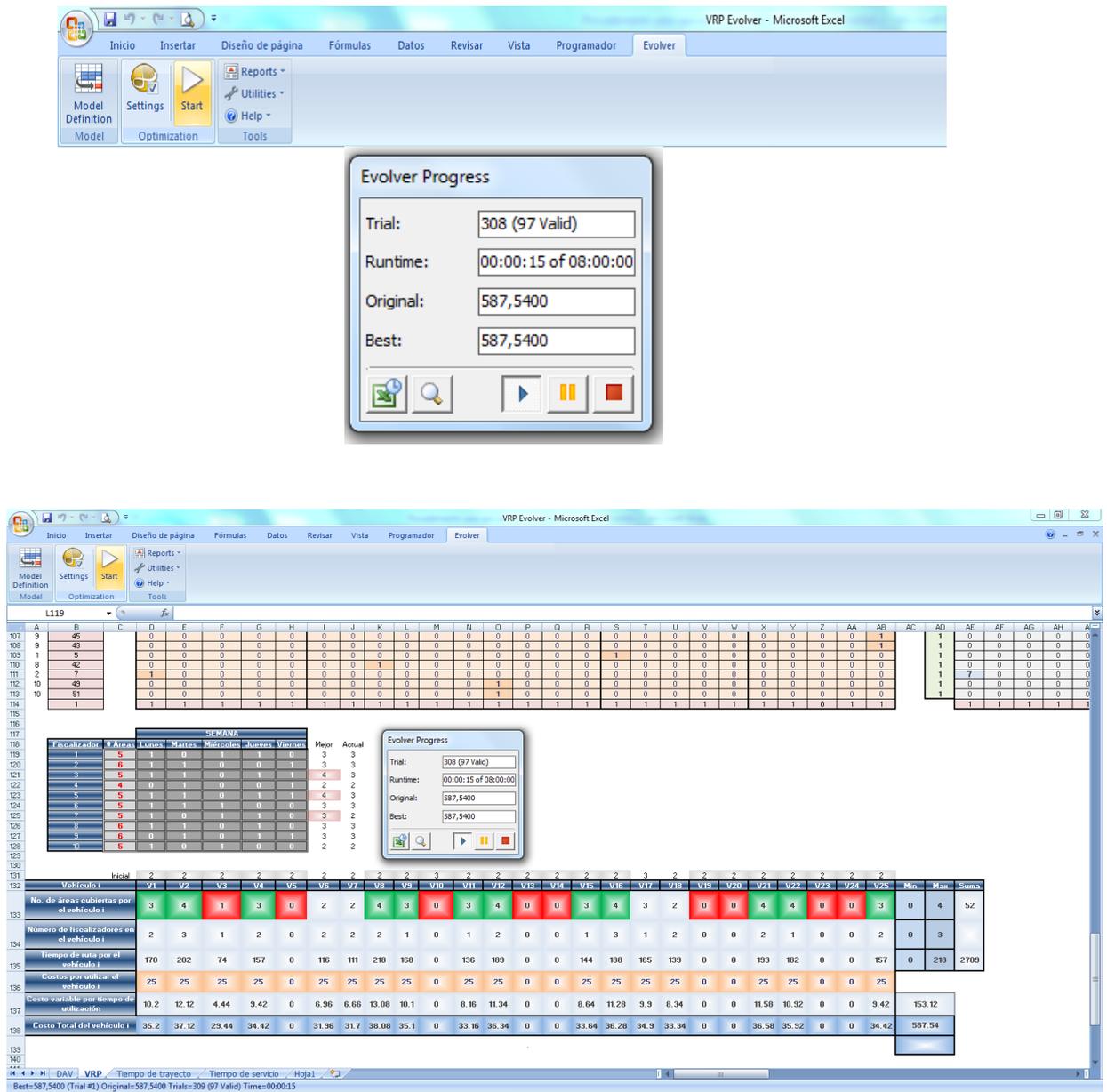
Se estableció como un tiempo máximo para la corrida 480 minutos, tiempo en el cual los resultados obtenidos no cambiaron. Ver Figura 13.

**Figura 13.- Pantalla "Tiempo de ejecución"**



9. Ejecutar el modelo: Inicio. Ver Figura 14.

Figura 14.- Pantalla "Ejecución del modelo"



En la Tabla 12 podemos apreciar el número de áreas visitadas por cada supervisor: Solución propuesta, que, a diferencia del plan de visitas actual Tabla 3, muestra una mejora en el número de visitadas redistribuidas diariamente. Además no se presenta una concentración de visitas en pocos días de la semana.

Como se aprecia el modelo propuesto cumple en visitar la totalidad de áreas de la Planificación inicial.

**Tabla 12.- Número de áreas visitadas por cada supervisor: Solución propuesta**

Supervisor	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Total visitadas
1	1		3	1		5
2	1	1			4	6
3	1	1		2	1	5
4		1			3	4
5	2	1		1	1	5
6	1	1	3			5
7	1		1	3		5
8	2	3		1		6
9		3		1	2	6
10	2		3			5
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>52</b>

Fuente: Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

La Tabla 13, muestra los resultados referentes al número de supervisores que usan los vehículos. Como se observa, existe un incremento de los supervisores por vehículo, esto principalmente, debido a que en un vehículo puede transportar más de un supervisor, lo cual comparado con el número de supervisores que actualmente usan los vehículos Tabla 4 el incremento se da en dos supervisores.

**Tabla 13.- Número de supervisores que usan los vehículos: Solución propuesta**

Vehículo i	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Totales
Vehículo 1	2	2	1	1		6
Vehículo 2	3	2	2	3	2	12
Vehículo 3	1	2		1	1	5
Vehículo 4	2	1		2	2	7
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>30</b>

Fuente: Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

En la Tabla 14 se puede observar el Plan de Visitas Semanal: Solución propuesta. El Supervisor 1 realizará recorridos los días lunes, Miércoles y Jueves, visitando cinco

áreas. Para el caso del Supervisor 10, el modelo sugiere realizar dos salidas en la semana, con las cuales abarcaría visitar cinco áreas.

La solución propuesta contempla treinta salidas semanales realizadas por diez supervisores, incrementando dos visitas con respecto a la Situación Actual.

**Tabla 14.- Plan de Visitas Semanal: Solución propuesta**

<b>Supervisor</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b># Áreas visitadas</b>
<b>1</b>	1		1	1		5
<b>2</b>	1	1			1	6
<b>3</b>	1	1		1	1	5
<b>4</b>		1			1	4
<b>5</b>	1	1		1	1	5
<b>6</b>	1	1	1			5
<b>7</b>	1		1	1		5
<b>8</b>	1	1		1		6
<b>9</b>		1		1	1	6
<b>10</b>	1		1			5
<b>Total</b>	8	7	4	6	5	52

**Fuente:** Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

A continuación se muestra en la Tabla 15 los kilómetros recorridos asociados a cada vehículo según el modelo propuesto, se puede apreciar que de los veinte recorridos que se contemplaban en el Plan de Visitas Actual Tabla 7, el modelo propone realizar diecisiete recorridos, lo cual sumado a la optimización de las rutas, los kilómetros recorridos al final de la semana se reducen sustancialmente, esto se encuentra ligado directamente a la reducción de costos que analizaremos en la Tabla 17.

**Tabla 15.- Kilómetros recorridos por el vehículo i: Solución propuesta**

<b>Vehículo i</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>Totales</b>
<b>Vehículo 1</b>	30	17	17	12	0	76
<b>Vehículo 2</b>	74	12	37	19	26	168
<b>Vehículo 3</b>	8	53	0	25	20	105
<b>Vehículo 4</b>	15	25	0	26	23	89
	126	107	54	82	69	<b>439</b>

**Fuente:** Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

La Tabla 16 presenta un total de 2,709 minutos de recorrido, correspondiente a las rutas totales de los vehículos, que representaría 45 horas semanales. Considerando que

la solución propuesta disminuye el número de recorridos a un total de diecisiete, por tanto cada vehículo recorrería aproximadamente 2.66 horas diarias de recorrido.

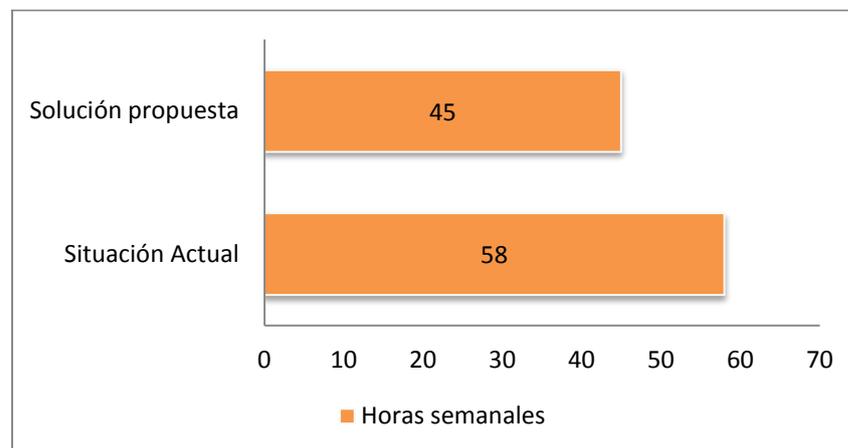
Los supervisores al salir diariamente disponen del tiempo total asignado que es de cuatro horas; es decir 240 minutos, sin embargo el modelo sugiere únicamente 170 minutos para el vehículo 1 el día lunes. Al contrastar, se muestra la mejora que puede significar en un proceso el uso de modelaciones matemática.

**Tabla 16.- Minutos recorridos por el vehículo i: Solución propuesta**

<b>Vehículo i</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>Totales</b>
<b>Vehículo 1</b>	170	116	136	144	0	566
<b>Vehículo 2</b>	202	111	189	188	193	883
<b>Vehículo 3</b>	74	218	0	165	182	639
<b>Vehículo 4</b>	157	168	0	139	157	621
	603	613	325	636	532	<b>2,709</b>

**Fuente:** Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

Debido a que los vehículos utilizados para esta actividad son de las mismas características, si observamos en forma gráfica podemos determinar que la exposición total de horas de estos vehículos cambia de 58 horas en la situación actual a 45 horas en la solución óptima o solución propuesta, tal como se aprecia en el Gráfico 8.



**Gráfico 8.- Comparativo Horas Semanales**

**Fuente:** Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

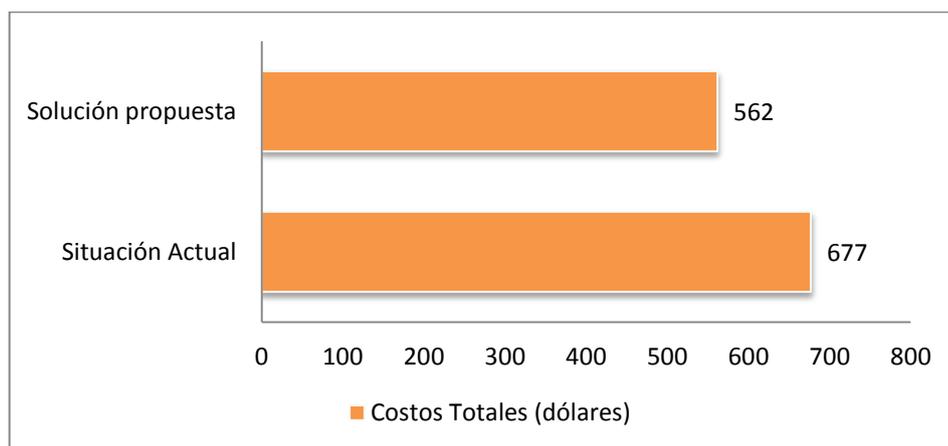
En la Tabla 17, se aprecian los costos totales asociados a la solución propuesta, que por considerar menos kilómetros recorridos, disminuyen los costos variables y por ende los costos totales.

**Tabla 17.- Costos totales: Solución propuesta**

<b>Vehículo i</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>Totales</b>
<b>Vehículo 1</b>	34	30	32	32	-	<b>128</b>
<b>Vehículo 2</b>	36	30	35	35	35	<b>170</b>
<b>Vehículo 3</b>	28	37	-	33	34	<b>132</b>
<b>Vehículo 4</b>	33	34	-	32	33	<b>131</b>
	<b>130</b>	<b>131</b>	<b>67</b>	<b>132</b>	<b>102</b>	<b>562</b>

Fuente: Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

Tal como se observa en las Tabla 10 y Tabla 17, la reducción en costos por la implementación del modelo es de \$ 115.00 por semana, lo cual muestra la optimización del modelo y el alcance del objetivo, reducción de costos operativos, lo anterior se ilustra en el Gráfico 9.



**Gráfico 9.- Comparativo Costos Totales**

Fuente: Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

Los resultados obtenidos sin duda aúnan los esfuerzos realizados hoy en día por la organización para reducir costos, sin perder calidad del servicio brindado. Por otro lado beneficia de forma positiva a las Instituciones que tienen la responsabilidad del uso adecuado de los recursos sobre los beneficios brindados a la ciudadanía, logrando con ello un doble beneficio.

Al concluir la investigación, podemos señalar que se han cumplido los objetivos planteados al inicio de ésta; tal es, que se profundizó en conocer la problemática del Diseño del Plan de Visitas para la supervisión del mantenimiento integral de las áreas

verdes de la ciudad de Guayaquil; empezando por estar al tanto del tratamiento que se le da a este tipo de problemas a nivel mundial. Llegando a conocer la densidad de área verde por habitante de entre 9 y 11 m<sup>2</sup>, según lo sugerido por la OMS, y que en la ciudad de Guayaquil, según mediciones del año 2011, asciende a los 6,52 m<sup>2</sup>.

Además, se realizó un trabajo de recopilación de datos para poder identificar las variables o características que sean relevantes y se consideren en el análisis, así como evaluar el proceso actual para el diseño del Plan de Visitas. A manera de resumen, las variables utilizadas o identificadas versus Costos, Tiempos, Distancias, Asignación y Capacidad.

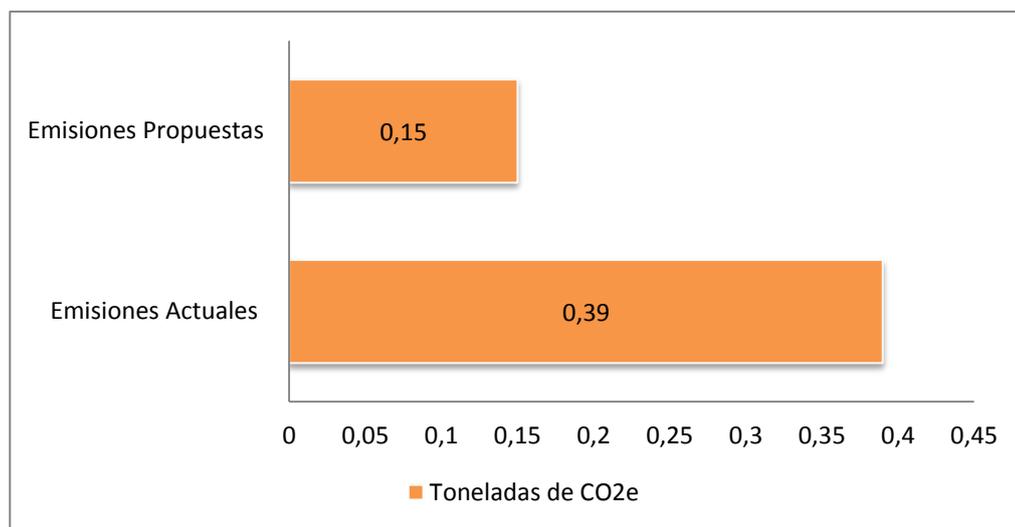
Se dio atención a la búsqueda de material bibliográfico que cite las distintas metodologías de solución para el problema de ruteo de vehículos; profundizando en el problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo y las metaheurísticas de algoritmos genéticos para TSP, VRP y VRPTW de manera que sea de utilidad para el lector.

Referente al objetivo específico sobre desarrollar un programa que optimice el plan de visitas; éste fue desarrollado utilizando las herramientas del Decision Tools de Palisade, como es Evolver y @Risk, las cuales por la facilidad para construir modelos en el Microsoft Excel, y que éstos utilizan los complementos de Palisade, permitieron con un tiempo de corrida de aproximadamente ocho horas, encontrar una mejor solución al Plan de visitas Actual, el cual se está proponiendo como alternativa de solución.

Como podríamos citar que los recursos utilizados para el diseño del Plan de visitas actual, requiere *cuatro vehículos* que son usados durante *cinco días* de la semana; diez supervisores para realizar las tareas de verificación de los trabajos realizados por los contratistas y un coordinador de transporte. La alternativa de solución propuesta luego de ejecutar el modelo, sugiere únicamente usar *cuatro vehículos* durante *cuatro días* a la semana. Maximizando así el uso de los recursos y minimizando los costos asociados al uso del vehículo y al costo total de la operación, dado que el día que se obtuvo como disminución, respecto al Plan actual, pudiere ser considerado como una ventaja frente al potencial aumento de las áreas verdes en la ciudad de Guayaquil que sean incluidas en los Planes de Mantenimiento Integral, de manera que se puedan atender más áreas verdes con la misma cantidad de recursos disponibles.

El tema ambiental hoy en día forma parte importante de todas las estrategias que se plantean a nivel nacional para mejorar los procesos, en este caso la optimización del uso de los vehículos está relacionado directamente con la demanda de combustibles y otros propulsores directos de CO<sub>2</sub>e (Dióxido de Carbono equivalente) uno de los gases de efecto de invernadero a los que se les atribuye el calentamiento global.

Ya considerando número de vehículos, días a la semana de utilización y kilometraje recorrido, el resultado es una reducción de 0,24 Toneladas de CO<sub>2</sub>e por semana que se dejarían de emitir hacia el ambiente tal como se muestra en el Gráfico 10.



**Gráfico 10.- Comparativo Emisiones de CO<sub>2</sub>**

**Fuente:** Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

La reducción de CO<sub>2</sub>e es importante por esta actividad y permite mantener un trabajo sostenible para el medio ambiente, y de reconocimiento en la comunidad

Finalmente lo descrito en este capítulo lo hemos resumido en la Tabla 18 misma que es explícita en su contenido conforme a lo discutido en cada una de las tablas presentadas en este proyecto.

**Tabla 18.- Comparativo Situación Actual versus Solución propuesta**

<b>Comparativo</b>	<b>Situación Actual</b>	<b>Solución Propuesta</b>
<b>Distancia (en Kilómetros)</b>	1,167	439
<b>Tiempo de recorrido (en minutos)</b>	3,454	2,709
<b>Número de recorridos (vehículos)</b>	20	17
<b>Costos Fijos</b>	470	400
<b>Costos Variables</b>	207	163
<b>Costos Totales</b>	677	563
<b>Salidas de supervisores</b>	28	30
<b>Supervisores por vehículo (en promedio)</b>	1.4	1.7

Fuente: Elaboración Propia-Villalva R.-Monserrate J.-2013

## **CAPÍTULO IV**

### **4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- En cuanto a la utilización de la herramienta del Decision Tools de Palisade, como los son Evolver y @Risk, permitió construir el modelo en Microsoft Excel, el cual con un tiempo de corrida de aproximadamente ocho horas, permitió encontrar una mejor solución al Plan de visitas Actual, el cual se está proponiendo como alternativa de solución.
- En cuanto a los resultados la versatilidad de la aplicación de los algoritmos genéticos en los problemas de ruteo, permite alcanzar soluciones óptimas a los problemas de enrutamiento, tal es el caso de la reducción del número de vehículos en 3 unidades durante la semana de operaciones, en relación a la planificación actual donde se necesitaban 20 unidades de vehículos durante los cinco días de la semana para cumplir con la ruta planificada.
- La reducción en el número de vehículos derivó en una reducción en los costos por uso semanal de los vehículos en \$ 115.00 en relación a los costos semanales de la situación actual misma que asciende a \$ 677.00 ambos escenarios se pueden observar en el Gráfico 9.
- El equipo técnico al igual que los vehículos también optimizan su tiempo, al transportarse en un mismo vehículo más de un supervisor, con lo cual el supervisor dispondrá de una mayor cantidad de tiempo para realizar sus actividades administrativas y atender situaciones puntuales de los contratos tal como se muestra en la Tabla 13.
- La implementación del modelo contribuirá a reducir las emisiones que actualmente se emiten hacia el ambiente en 0,24 Toneladas de CO<sub>2</sub>e semanalmente, contribuyendo con ello a reducir el calentamiento global tal como se observa en el Gráfico 10.

- Es posible una alternativa económica adicional para los vehículos que se dejarán de usar por temas de optimización. Éstos podrían ser utilizados en la supervisión de nuevas áreas, aumentando con ello el alcance del proyecto sin invertir en nuevos vehículos.
- La Institución a cargo del proceso de verificación del mantenimiento de áreas verdes, deberá actualizar los datos considerados en la corrida del modelo, de tal forma que el resultado de la planificación de las rutas este acorde a la información ingresada.
- Una mejor distribución de los recursos ha permitido a la empresa, ser más eficiente en la tarea de supervisión. Optimizando los recursos disponibles y minimizando el impacto en la comunidad.
- La Institución beneficiaria del modelo podrá replicarlo en nuevos proyectos de visitas, supervisión de áreas verdes, obras municipales, obras civiles, entre otros.
- Se sugiere que la parametrización de los datos sea realizada con el equipo técnico que conoce el giro del negocio.
- Se sugiere la modificación de los procedimientos existentes en la organización, como parte de la mejora continua que permita ejecutar la solución propuesta; entre las actividades a considerarse están:
  - Registrar en la bitácora de vehículos los datos informativos acorde a las visitas realizadas con las respectivas variables que se deben incluir.
  - Maximizar el uso de los vehículos, implementando el sistema Car Pool, que permite que el vehículo transporte más de un supervisor.
- Actualizar el modelo propuesto considerando las variaciones de ciertos parámetros que actualmente han sido considerados determinísticos.

## **5 BIBLIOGRAFÍA**

1. **Krishnamurthy, L y Jose, Nascimento R.** *Areas Verdes Urbanas en Latinoamérica y El Caribe.* Ciudad de México : s.n., 1998. 968-884-491-8.
2. **ASSESSING THE BENEFITS AND COSTS OF THE URBAN FOREST. Dwyer, F, y otros.** Chicago : Fifth National Urban Forest Conference: Forging Alliances for Community Trees, 1992.
3. **M.I. Municipalidad de Guayaquil.** *Rendición de Cuentas 2010-2011.* Guayaquil : Wong & Wong Consultores Asociados, Cía Ltda., 2011. Informe Anual.
4. **Unit, Economist Intelligence.** SIEMENS. [En línea] 2010. <http://www.siemens.com/press/pool/de/events/corporate/2010-11-lam/result-presentation.pdf>.
5. *La Planificación Verde de las Ciudades Barcelona 2da edicion 2005*
6. **Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.** *Perspectivas del Medio Ambiente América Latina y el Caribe.*
7. **Paolo, Toth y Daniele, Vigo.** "The Vehicle routing problem". Bologna : Universita degli Studi di Bologna, 2000.
8. **F., Sandoya.** Instituto de Ciencias Matemáticas. [En línea] [http://www.icm.espol.edu.ec/jornadas/14/archivos/Diapositivas/SandoyaFernando/conferencia/SandoyaFernando\\_M%C3%A9todos\\_exactos\\_y\\_heur%C3%ADsticos\\_para\\_el%20VRP\\_jornadas.pdf](http://www.icm.espol.edu.ec/jornadas/14/archivos/Diapositivas/SandoyaFernando/conferencia/SandoyaFernando_M%C3%A9todos_exactos_y_heur%C3%ADsticos_para_el%20VRP_jornadas.pdf).
9. **sci2s.** *Universidad de Granada.* [En línea] [http://sci2s.ugr.es/publications/ficheros/OCH%20Modelos%20y%20Nuevos%20Enfoques%20\(Chapter\).pdf](http://sci2s.ugr.es/publications/ficheros/OCH%20Modelos%20y%20Nuevos%20Enfoques%20(Chapter).pdf).
10. **Batista, Belen Melian y Glover, Fred.** University of Colorado at Boulder. [En línea] [http://leeds-faculty.colorado.edu/glover/ts%20-%20intro%20-%20metaheuristics%20in%20econ%20&%20bus%20-%20w%20belen%20%20\(spanish\).pdf](http://leeds-faculty.colorado.edu/glover/ts%20-%20intro%20-%20metaheuristics%20in%20econ%20&%20bus%20-%20w%20belen%20%20(spanish).pdf).
11. **Hillier, Frederick y Lieberman, Gerald.** *Introducción a la Investigación de Operaciones.* Ciudad de México : McGraw-Hill Interamericana, 2007. ISBN-13:978-970-10-5621-9.

12. **Oliveira, Alfredo.** Facultad de Ingeniería Universidad de Uruguay. [En línea] 2004.  
<http://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0408.pdf>.
13. **Nemhauser, G., Wolsey, L.** *Integer and Combinatorial Optimization.*
14. *The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms.*  
**LAPORTE, G.** s.l. : European Journal of Operational Research, 59, 1992, pp. 345–358., 1992.
15. **Holland, John.** *Adaptation in Natural and artificial systems: An Introduction Analysis with Applications To Biology, Control and Artificial Intelligence.* s.l. : The University of Michigan Press, 1975.
16. **CIRRELT.** Interuniversity Research Centre on Enterprise Network, Logistic and Transportation. [En línea] August de 2007. 8. CIRRELT. CIRRELT. Metaheuristic for the vehicle routing probl<https://www.cirrelt.ca/DocumentsTravail/CIRRELT-2007-27.pdf>..
17. **Potvin, Yves-Jean.** Genetic Algorithms for the traveling salesman problem. [En línea]  
<http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fciteseerx.ist.psu.edu%2Fviewdoc%2Fdownload%3Bjsessionid%3DF65927180919D4CDA044AFF23E372615%3Fdoi%3D10.1.1.93.2179%26rep%3Drep1%26type%3Dpdf&ei=D>.
18. **Lu, Jingui Lu y Xie, Min.** INTECHOPEN. *Immune-Genetic Algorithm for TSP.* [En línea] 2010. [http://cdn.intechopen.com/pdfs/12405/InTech-Immune\\_genetic\\_algorithm\\_for\\_traveling\\_salesman\\_problem.pdf](http://cdn.intechopen.com/pdfs/12405/InTech-Immune_genetic_algorithm_for_traveling_salesman_problem.pdf).
19. **Potvin, Yves-Jean.** GENETIC ALGORITHMS FOR THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM. [En línea]  
<http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fciteseerx.ist.psu.edu%2Fviewdoc%2Fdownload%3Bjsessionid%3DF65927180919D4CDA044AFF23E372615%3Fdoi%3D10.1.1.93.2179%26rep%3Drep1%26type%3Dpdf&ei=D>.
20. **Chang, Yaw y Lin, Chen.** AIMSciences. *SOLVE THE VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS VIA A GENETIC ALGORITHM.* [En línea] 2007.  
<http://www.aims sciences.org/journals/pdfs.jsp?paperID=2806&mode=full>.
21. **Sandoya F., UNAM.** *UN MODELO PARA EL PROBLEMA DE LA DIVERSIDAD MÁXIMA UN ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN DE LO MEJOR Y LO MÁS DIVERSO.* MÉXICO : s.n., 2013.

22. **Palisade Corporation.** *Guía para el uso de EVOLVER.* Ithaca : s.n., 2010.
23. **Francisco, Bascuñán.** El Reeditor. [En línea] 2011.  
<http://www.reeditor.com/columna/303/2/arquitectura/areas/verdes/densidad/habitaciona>  
l.
24. **Palisade Corporation.** Palisade Corporation. [En línea] <http://www.palisade-lta.com/>.
25. **Diagnóstico Técnico Participativo del Plan Regional de Desarrollo Concertado de Lima 2012 – 2025.** Plan Lima. [En línea] 2011.  
[http://www.planlima.gob.pe/pdf/diagnostico\\_cap5.pdf](http://www.planlima.gob.pe/pdf/diagnostico_cap5.pdf).
26. **Vázquez, Mariano.** CSIC. *INFORME DE LA CONSTRUCCION.* [En línea] Dpto. de Estructuras de Edificación de la UPM de Madrid-España, 1995.  
<http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=9&cad=rja&ved=0CGEQFjAI&url=http%3A%2F%2Finformesdelaconstruccion.revistas.csic.es%2Findex.php%2Finformesdelaconstruccion%2Farticle%2Fdownload%2F1084%2F1168&ei=p2TjUanYENLJ4APD1oDgDg&us>.

## **6 ANEXOS**

**Anexo 1.- Presupuesto por Dirección Municipal Enero-Diciembre 2010**

<b>DIRECCION</b>	<b>%Asignación</b>	<b>Inicial</b>	<b>Reforma (No Aprobada)</b>	<b>Codificado</b>	<b>% Codificado</b>	<b>Ejecución</b>	<b>% Ejecución</b>
Alcaldía	0.43	1,902,172.01	630,000.00	2,532,172.01	0.61	2,344,571.90	92.59%
Ases. Jurídica	0.33	1,475,062.42	(120,500.00)	1,354,562.42	0.33	1,259,162.09	92.96%
Auditoría Interna	0.00	10,982.95	278,500.00	289,482.95	0.07	253,373.15	87.53%
DDI	0.11	506,957.90	(9,000.00)	497,957.90	0.12	438,002.75	87.96%
Prensa	0.82	3,660,305.88	1,286,500.00	4,946,805.88	1.20	4,257,313.07	86.06%
Contr Fundac.	0.04	191,393.18	32,000.00	223,393.18	0.05	199,653.36	89.37%
Financiero	12.27	54,637,755.00	3,151,300.00	57,789,055.00	14.01	51,792,715.65	89.62%
RR.HH.	1.05	4,685,345.36	129,500.00	4,814,845.36	1.17	3,528,811.48	73.29%
Administración	5.52	24,587,698.64	3,488,000.00	28,075,698.64	6.81	25,328,774.26	90.22%
Informática	0.92	4,085,177.21	366,500.00	4,451,677.21	1.08	3,113,535.02	69.94%
Sec. de Consejo	0.14	619,314.11	132,000.00	751,314.11	0.18	701,439.65	93.36%
Just. y Vigilanc.	0.76	3,404,718.28	288,000.00	3,692,718.28	0.90	3,154,047.37	85.41%
Policía Metrop.	1.18	5,254,056.13	2,124,000.00	7,378,056.13	1.79	6,977,676.31	94.57%
DASE	4.20	18,707,659.37	(83,500.00)	18,624,159.37	4.52	14,505,901.37	77.89%
Cultura	0.73	3,244,179.64	1,779,500.00	5,023,679.64	1.22	4,055,048.37	80.72%
Turismo	0.33	1,464,868.74	31,000.00	1,495,868.74	0.36	1,266,242.91	84.65%
Deportes	0.21	923,489.88	(76,000.00)	847,489.88	0.21	586,445.21	69.20%
Salud	4.38	19,503,972.92	(6,335,500.00)	13,168,472.92	3.19	10,040,230.18	76.24%
Vía Pública	0.11	500,224.67	48,500.00	548,724.67	0.13	475,737.89	86.70%
Urbanismo	0.74	3,278,988.89	340,500.00	3,619,488.89	0.88	3,330,187.34	92.01%
Terrenos	0.67	2,992,529.82	300,500.00	3,293,029.82	0.80	1,598,041.37	48.53%
Aseo Cantonal	8.94	39,815,087.29	6,536,000.00	46,351,087.29	11.24	43,543,088.86	93.94%
DOIT	0.60	2,660,536.43	355,500.00	3,016,036.43	0.73	2,611,214.12	86.58%
Medio Ambiente	0.32	1,442,089.51	(18,500.00)	1,423,589.51	0.35	1,000,015.76	70.25%
Áreas Verdes	2.72	12,116,199.34	756,500.00	12,872,699.34	3.12	6,595,001.21	51.23%
OO.PP.	52.46	233,557,234.43	(48,289,300.00)	185,267,934.43	44.93	84,427,845.56	45.57%
<b>TOTAL:</b>	<b>100.00</b>	<b>445,228,000.00</b>	<b>(32,878,000.00)</b>	<b>412,350,000.00</b>	<b>100.00</b>	<b>277,384,076.21</b>	<b>67.27%</b>

**Anexo 2.- Matriz de Tiempos entre áreas verdes Parte 1**

	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26
A0	0	41	38	32	39	35	43	41	46	47	43	41	46	38	34	40	41	48	42	44	45	43	46	44	36	38	42
A1	37	0	35	38	36	34	42	37	40	44	38	36	47	41	40	45	44	53	49	51	57	46	47	41	41	40	40
A2	35	36	0	34	35	37	41	38	42	47	41	38	42	36	35	37	40	42	44	43	45	41	38	33	36	36	42
A3	36	34	37	0	38	33	43	40	43	49	41	37	39	35	36	38	37	40	40	41	43	36	38	36	37	42	41
A4	34	40	35	36	0	38	34	36	34	38	36	40	42	40	35	41	38	37	40	42	45	46	45	47	43	39	36
A5	36	37	39	38	37	0	43	38	41	43	39	37	39	41	42	43	39	46	44	46	48	48	44	41	42	43	40
A6	36	42	40	38	35	38	0	34	34	34	33	36	46	40	38	44	44	48	48	47	49	45	42	40	39	41	37
A7	35	42	40	37	38	37	36	0	36	38	35	36	41	39	38	43	43	43	47	47	47	44	41	37	36	38	36
A8	41	47	40	42	37	38	34	37	0	35	32	38	46	43	42	48	47	49	51	51	55	49	46	44	41	43	40
A9	41	48	41	46	35	42	34	39	32	0	33	39	48	45	44	50	48	51	53	54	55	50	47	46	42	45	47
A10	38	45	39	41	34	37	34	37	34	37	0	35	47	42	41	44	47	48	50	50	50	48	45	44	39	42	38
A11	36	39	36	38	39	35	36	34	37	41	38	0	43	40	39	46	45	46	48	48	49	46	43	45	37	40	35
A12	44	45	41	38	41	43	47	43	49	52	50	41	0	40	39	42	37	39	38	41	41	48	37	44	41	42	46
A13	36	33	39	35	37	39	45	41	44	48	43	39	44	0	36	38	37	41	39	41	44	42	38	37	33	37	40
A14	34	35	40	32	36	40	42	40	45	47	44	40	44	35	0	39	39	44	43	44	45	42	37	35	33	37	40
A15	39	39	41	40	44	43	46	44	49	51	46	44	46	37	39	0	36	38	37	36	40	41	37	36	36	37	42
A16	42	35	41	38	39	40	46	42	45	49	44	40	42	38	39	37	0	36	39	40	44	45	32	39	38	39	44
A17	38	44	46	43	38	50	50	46	51	53	49	44	42	40	46	38	37	0	35	34	38	43	40	39	37	40	43
A18	45	41	46	42	42	46	50	48	51	55	50	46	41	37	43	36	37	38	0	36	39	46	38	41	40	40	46
A19	44	44	47	43	41	47	48	46	50	54	50	47	44	39	43	36	39	40	38	0	40	42	39	38	36	36	42

**Anexo 3.- Matriz de tiempos entre áreas verdes Parte 2**

	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34	A35	A36	A37	A38	A39	A40	A41	A42	A43	A44	A45	A46	A47	A48	A49	A50	A51	A52
<b>A0</b>	43	41	47	42	45	55	50	64	53	58	58	52	58	63	53	46	54	55	54	57	51	51	46	52	39	39
<b>A1</b>	41	40	44	39	44	50	45	65	47	49	56	52	53	57	54	48	52	48	51	49	48	59	41	45	42	41
<b>A2</b>	36	35	39	36	41	49	44	60	49	47	55	47	51	56	52	46	50	47	49	47	46	46	40	40	39	42
<b>A3</b>	41	45	41	46	55	47	62	53	56	58	52	55	60	56	55	54	55	53	56	55	50	45	48	45	42	43
<b>A4</b>	35	44	37	36	41	50	42	62	48	50	53	48	49	54	51	45	49	45	49	49	45	45	43	43	39	38
<b>A5</b>	41	43	46	39	45	51	47	41	51	49	57	50	53	58	54	49	52	49	51	49	48	49	42	46	43	42
<b>A6</b>	38	41	41	37	37	46	39	40	44	41	49	42	46	51	47	42	45	42	44	42	42	57	38	40	35	36
<b>A7</b>	38	38	42	36	41	49	42	62	47	45	52	46	48	50	51	45	48	45	46	46	46	45	40	42	39	38
<b>A8</b>	41	43	45	39	41	45	39	64	45	42	48	43	46	51	47	42	46	42	44	43	42	45	43	44	39	42
<b>A9</b>	42	45	46	41	41	46	39	64	44	42	48	47	45	51	47	42	46	42	44	43	43	45	42	44	39	40
<b>A10</b>	39	42	44	38	40	48	42	63	46	44	51	44	48	53	50	44	48	44	47	45	44	43	41	43	38	39
<b>A11</b>	37	40	42	36	40	50	43	62	48	45	53	48	49	54	51	45	49	45	48	46	47	46	46	42	38	38
<b>A12</b>	46	45	49	46	50	59	53	64	55	54	62	56	59	63	60	54	58	55	57	55	56	55	48	51	48	47
<b>A13</b>	38	40	44	42	45	55	50	62	55	52	60	55	56	61	58	52	55	52	56	53	53	55	44	45	42	42
<b>A14</b>	38	39	43	40	44	54	47	62	52	56	57	51	54	58	55	49	53	50	52	50	51	48	43	44	42	40
<b>A15</b>	40	38	40	43	47	53	53	60	56	54	62	55	58	63	59	54	54	54	54	54	55	53	44	40	45	44
<b>A16</b>	42	44	46	45	49	58	51	64	56	53	61	56	57	62	59	53	57	53	56	54	55	53	48	46	46	46
<b>A17</b>	45	45	44	45	49	56	54	62	58	55	63	59	59	64	61	55	58	55	58	56	56	52	46	45	46	45
<b>A18</b>	44	45	46	48	51	59	56	67	61	57	65	60	62	67	63	57	61	58	60	58	59	56	49	47	48	48
<b>A19</b>	41	41	42	44	47	55	53	61	57	54	62	56	58	63	60	54	57	54	56	55	54	54	45	43	45	44

**Anexo 4.- Matriz de tiempos entre áreas verdes Parte 3**

	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26
A20	45	45	49	40	47	47	50	48	56	54	53	50	42	43	46	41	43	4	40	39	0	46	43	42	41	41	47
A21	46	42	45	39	47	47	46	44	49	51	48	46	46	40	39	43	46	46	45	39	37	0	44	36	37	35	44
A22	45	43	41	35	44	42	46	43	46	49	44	41	40	38	39	35	32	41	37	39	44	45	0	41	39	39	45
A23	40	35	41	37	46	43	38	39	49	51	48	44	45	38	38	37	40	44	45	39	40	39	40	0	38	31	39
A24	37	37	38	41	43	41	44	40	46	47	44	41	47	32	36	36	42	42	40	39	45	42	41	37	0	38	36
A25	42	42	47	39	39	43	48	46	50	50	50	47	48	37	41	37	40	45	44	39	43	40	41	41	37	0	39
A26	37	43	40	40	45	39	41	38	43	46	42	41	51	42	40	43	46	48	47	45	47	44	44	43	39	45	0
A27	39	43	41	41	39	37	40	37	42	44	41	39	50	42	40	42	46	45	47	45	47	44	44	44	39	46	32
A28	40	43	41	43	39	39	42	40	44	46	44	41	51	39	40	39	42	47	45	41	44	42	43	39	39	42	36
A29	41	47	44	39	37	41	43	40	46	48	44	43	52	43	43	43	46	51	49	44	43	40	47	40	43	42	38
A30	38	42	39	44	36	38	41	34	39	46	40	38	51	42	39	40	47	48	46	45	48	46	44	44	39	45	33
A31	42	51	45	51	41	44	41	40	43	43	42	44	55	46	45	48	50	54	54	47	46	47	49	43	46	45	41
A32	51	52	53	46	49	49	44	47	45	45	46	51	61	54	52	56	58	60	60	53	52	49	56	49	54	51	50
A33	43	48	48	63	42	46	39	43	40	49	41	46	58	49	47	53	53	59	57	54	52	49	51	49	49	51	45
A34	64	65	67	51	63	39	43	62	65	64	64	66	65	63	63	64	67	66	67	61	59	57	68	57	62	58	61
A35	50	49	49	55	49	51	44	47	45	45	45	51	62	54	53	59	58	54	62	57	55	52	56	53	54	54	50
A36	50	52	53	51	52	52	45	47	46	46	47	52	63	54	49	58	58	65	62	62	61	58	57	58	54	60	50
A37	52	54	53	49	49	51	44	47	45	48	46	51	63	54	53	58	58	65	62	62	60	58	56	58	54	59	51
A38	49	54	48	53	42	48	38	44	42	44	42	47	59	51	48	54	54	61	58	55	55	53	50	56	51	53	45
A39	51	55	49	54	46	48	41	44	44	42	44	48	59	51	49	55	55	61	58	59	57	54	53	54	51	56	48

**Anexo 5.- Matriz de tiempos entre áreas verdes Parte 4**

	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34	A35	A36	A37	A38	A39	A40	A41	A42	A43	A44	A45	A46	A47	A48	A49	A50	A51	A52
A20	45	46	48	49	52	59	57	64	62	58	68	61	64	67	64	58	61	59	61	59	60	49	49	48	50	49
A21	42	40	42	44	47	47	48	53	58	52	57	52	53	62	56	53	50	54	48	52	51	47	44	42	46	45
A22	43	44	46	45	49	58	51	65	56	56	62	55	58	53	59	53	57	54	56	54	55	58	47	46	48	47
A23	38	35	37	40	44	50	48	57	53	51	58	53	54	54	56	50	54	50	53	51	50	48	42	37	43	41
A24	34	36	40	36	41	51	46	61	51	47	55	50	52	56	53	47	51	48	50	48	49	57	38	41	39	38
A25	37	37	41	39	43	53	57	60	51	48	57	51	53	58	54	48	52	49	51	49	50	53	41	41	41	40
A26	33	35	36	35	38	48	44	57	48	48	57	51	53	58	54	48	52	49	51	49	50	56	36	37	36	35
A27	0	36	37	33	40	47	42	57	47	44	55	49	52	57	53	48	51	48	50	48	49	57	35	37	34	34
A28	34	0	37	36	41	49	47	57	51	49	57	54	53	58	55	49	53	49	52	50	51	55	39	37	38	38
A29	37	36	0	38	39	46	45	53	49	51	58	53	54	61	57	51	51	52	49	52	52	53	36	33	38	36
A30	36	35	36	0	39	49	43	59	48	46	54	49	50	55	52	46	50	46	58	47	48	58	36	39	35	36
A31	42	42	37	39	0	42	40	56	45	48	56	50	52	58	54	48	52	49	51	49	50	38	35	36	35	33
A32	50	50	46	48	40	0	34	58	35	43	49	44	45	52	48	41	46	42	44	42	43	58	44	43	42	42
A33	48	48	44	45	38	36	0	60	36	39	46	42	43	48	45	38	43	39	44	39	40	43	41	43	41	42
A34	61	58	57	59	56	56	56	0	59	59	64	59	60	68	63	61	57	61	54	59	58	64	54	51	56	55
A35	53	54	49	50	44	35	37	61	0	42	48	44	45	52	47	40	45	41	39	41	43	46	46	47	46	48
A36	38	54	56	51	51	48	47	63	49	0	41	40	39	39	36	42	37	42	39	41	40	56	52	53	50	52
A37	34	53	55	51	51	48	46	63	48	38	0	38	33	39	37	41	41	41	38	40	38	55	51	53	49	51
A38	48	48	49	44	44	42	38	62	40	37	42	0	39	47	41	37	40	37	38	38	37	49	45	48	43	45
A39	51	50	52	48	48	44	43	60	45	35	35	34	0	39	35	37	38	37	36	36	35	51	48	51	46	48

**Anexo 6.- Matriz de tiempos entre áreas verdes Parte 5**

	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26
<b>A40</b>	53	57	56	55	52	55	47	50	48	48	50	54	65	57	55	53	61	67	65	64	64	62	59	62	57	62	54
<b>A41</b>	46	56	51	51	47	50	42	45	43	43	45	49	60	52	50	56	56	62	60	60	60	57	54	57	52	58	49
<b>A42</b>	42	52	48	50	44	47	41	42	40	41	42	46	57	49	47	53	53	59	64	57	57	54	51	58	53	54	46
<b>A43</b>	49	56	52	51	48	50	43	46	44	44	35	50	61	53	51	57	57	63	61	58	57	54	55	54	53	55	50
<b>A44</b>	48	52	48	52	44	47	39	42	41	41	42	46	58	49	48	53	53	60	64	57	56	54	51	54	53	55	46
<b>A45</b>	51	53	54	52	51	53	45	45	46	46	48	53	57	51	54	55	60	58	60	53	52	52	57	49	55	51	52
<b>A46</b>	49	53	49	51	45	48	40	43	41	41	43	47	58	50	48	55	54	61	65	57	55	53	52	53	54	54	47
<b>A47</b>	50	53	49	46	45	48	41	45	42	43	43	49	59	51	50	55	55	61	59	55	54	51	54	52	51	53	49
<b>A48</b>	46	52	47	44	43	46	47	42	44	45	45	45	48	51	48	52	51	51	56	49	48	45	54	40	50	47	45
<b>A49</b>	44	49	44	43	37	44	42	41	47	44	46	43	51	45	44	46	48	51	49	42	42	42	49	40	43	41	38
<b>A50</b>	45	45	48	43	45	46	47	45	48	48	48	48	49	43	43	44	47	48	48	41	40	37	48	37	42	39	43
<b>A51</b>	41	45	42	41	38	41	38	37	40	40	39	40	52	43	42	46	47	53	51	47	46	43	47	43	45	45	38
<b>A52</b>	41	50	41	42	45	44	44	40	45	45	45	43	52	46	45	46	49	52	51	45	43	40	49	40	43	42	39

**Anexo 7.- Matriz de tiempos entre áreas verdes Parte 6**

	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34	A35	A36	A37	A38	A39	A40	A41	A42	A43	A44	A45	A46	A47	A48	A49	A50	A51	A52
A40	57	56	32	54	54	52	48	68	52	42	37	44	40	0	37	44	45	44	44	43	43	56	54	57	60	55
A41	52	51	53	49	49	48	44	63	47	37	36	38	35	37	0	39	41	39	39	38	38	53	49	52	47	49
A42	49	48	50	46	46	42	39	60	41	36	41	37	38	45	40	0	37	31	35	33	34	50	46	49	46	45
A43	43	52	54	50	50	44	45	59	47	35	41	37	38	44	40	39	0	38	35	37	36	52	51	48	48	50
A44	49	49	50	46	46	43	39	69	41	35	40	36	37	45	39	31	36	0	35	32	33	50	47	49	45	46
A45	53	51	52	47	49	39	43	57	39	39	43	37	40	48	43	36	37	41	0	34	33	49	49	46	45	48
A46	50	49	51	47	47	42	40	58	42	36	41	36	37	45	40	33	36	32	36	0	32	49	47	47	45	47
A47	51	51	52	48	48	41	41	56	43	35	41	37	38	45	40	34	34	33	34	32	0	49	49	46	47	49
A48	47	45	41	48	42	40	44	55	49	50	57	52	53	59	56	49	52	50	50	50	51	0	34	34	36	35
A49	38	44	39	36	40	46	45	56	48	49	58	52	53	59	56	50	50	50	47	47	48	39	0	37	32	32
A50	42	41	38	43	42	45	43	52	48	52	57	50	51	59	53	54	50	51	47	47	51	42	39	0	41	39
A51	41	38	37	36	33	44	41	56	45	45	53	48	50	55	52	46	49	46	50	47	47	38	33	37	0	39
A52	39	39	38	36	37	45	44	57	50	50	58	52	54	59	56	51	51	51	48	51	47	39	32	37	37	0

**Anexo 8.- Encuesta para la determinación de tiempos de supervisión**

**Maestría en Control de Operaciones y Gestión Logística**  
Optimización del plan de visitas de inspección en el servicio de mantenimiento de áreas verdes de la ciudad de Guayaquil.

---

**ENCUESTA PARA DETERMINACION DE TIEMPOS DE SUPERVISION**

**N°**  
**FECHA:**  
**SUPERVISOR:**

Durante la supervisión que realiza a cada una de las áreas de su contrato, detalle en el siguiente recuadro los tiempos en que se realiza la misma, sin incluir el tiempo de traslado hacia las áreas.

Detalle	Tiempo en minutos
Tiempo de supervisión más corto	
Tiempo promedio de inspección	
Tiempo de supervisión más largo	

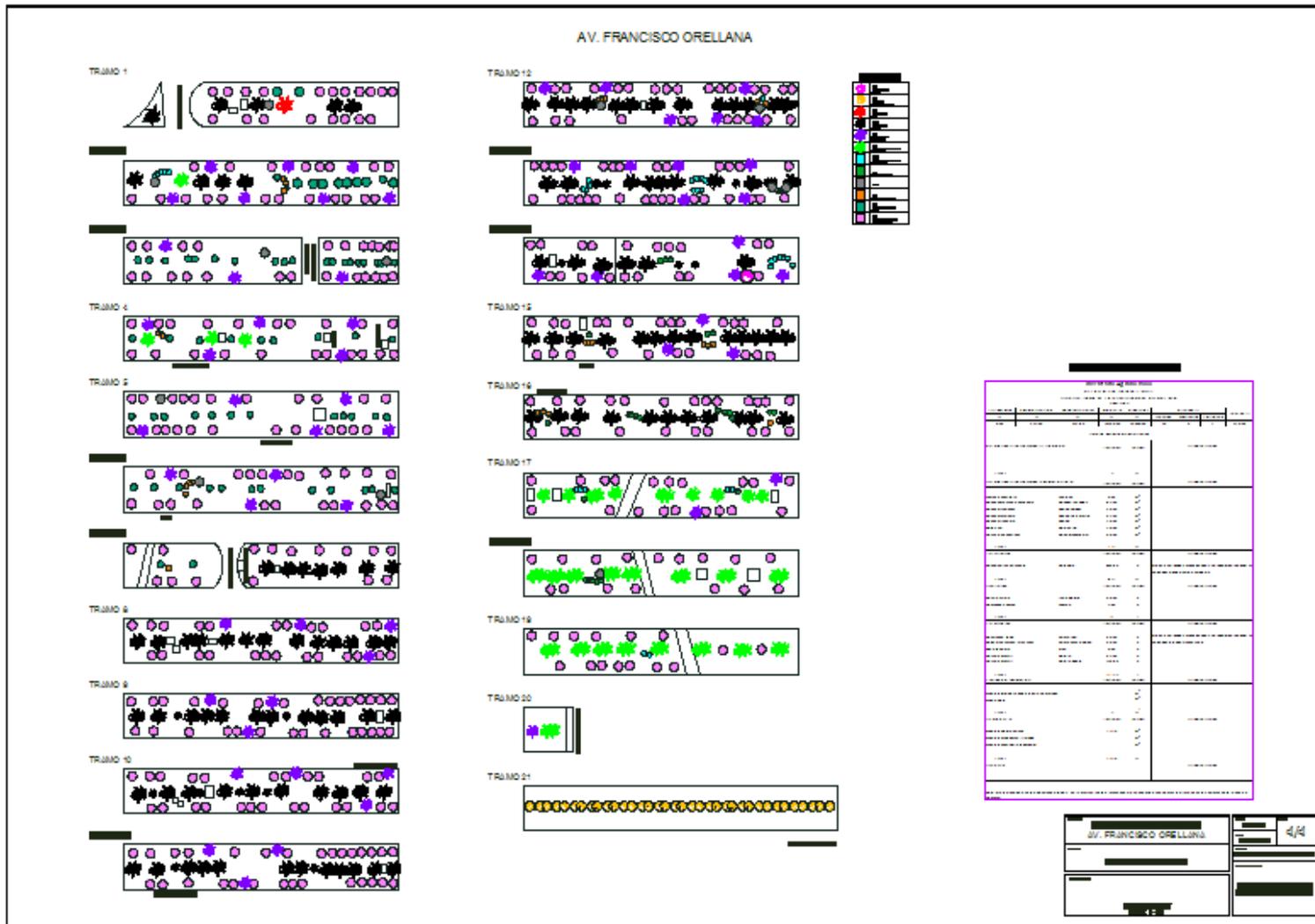
**Anexo 9.- Bitácora de salida de vehículos Situación Actual**

Supervisores	Vehículo	FECHA	Kilometraje		Km. rec.	# Areas
			inicial	59404		
1,2	1	09/09/2013	final	59486	82	4
			inicial	100816		
3,4	2	09/09/2013	final	100902	86	4
			inicial	151215		
5,6	3	09/09/2013	final	151293	78	4
			inicial	93049		
7	4	09/09/2013	final	93092	43	2
			inicial	93092		
1,4	4	10/09/2013	final	93185	93	4
			inicial	100910		
5	2	10/09/2013	final	100960	50	2
			inicial	59595		
8	1	10/09/2013	final	59627	32	1
			inicial	151293		
9	3	10/09/2013	final	151321	28	1
			inicial	59627		
2,3	1	11/09/2013	final	59735	108	4
			inicial	151469		
6,7	3	11/09/2013	final	151542	73	5
			inicial	93279		
8,9	4	11/09/2013	final	93335	56	3
			inicial	101200		
10	2	11/09/2013	final	101245	45	2
			inicial	101248		
5,6	2	12/09/2013	final	101300	52	3
			inicial	59780		
8	1	12/09/2013	final	59871	91	3
			inicial	93385		
9	4	12/09/2013	final	93435	50	1
			inicial	151545		
10	3	12/09/2013	final	151585	40	3
			inicial	93455		
1	4	13/09/2013	final	93490	35	1
			inicial	59985		
2	1	13/09/2013	final	60025	40	2
			inicial	151585		
3	3	13/09/2013	final	151625	40	1
			inicial	101394		
9	2	13/09/2013	final	101439	45	2

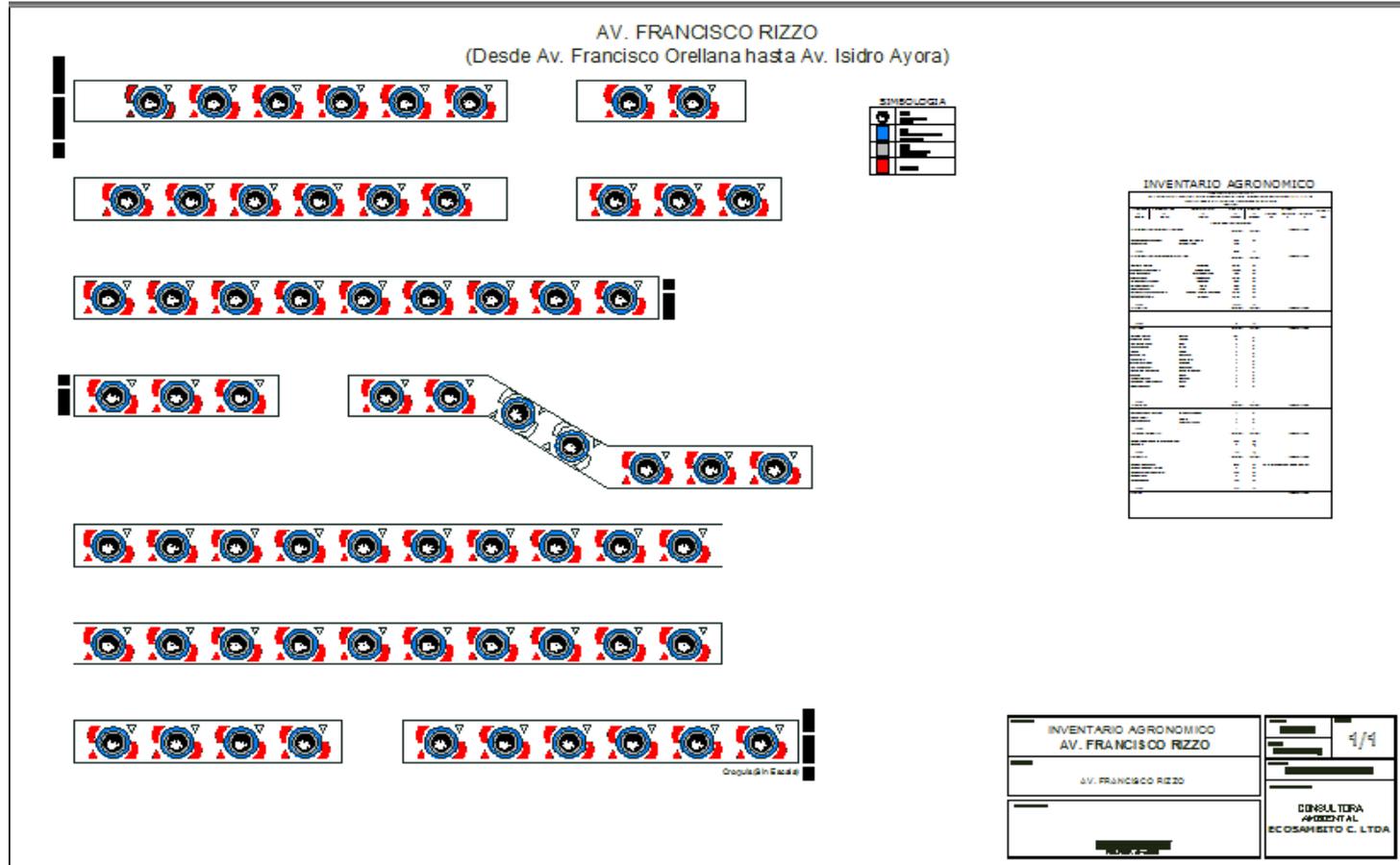




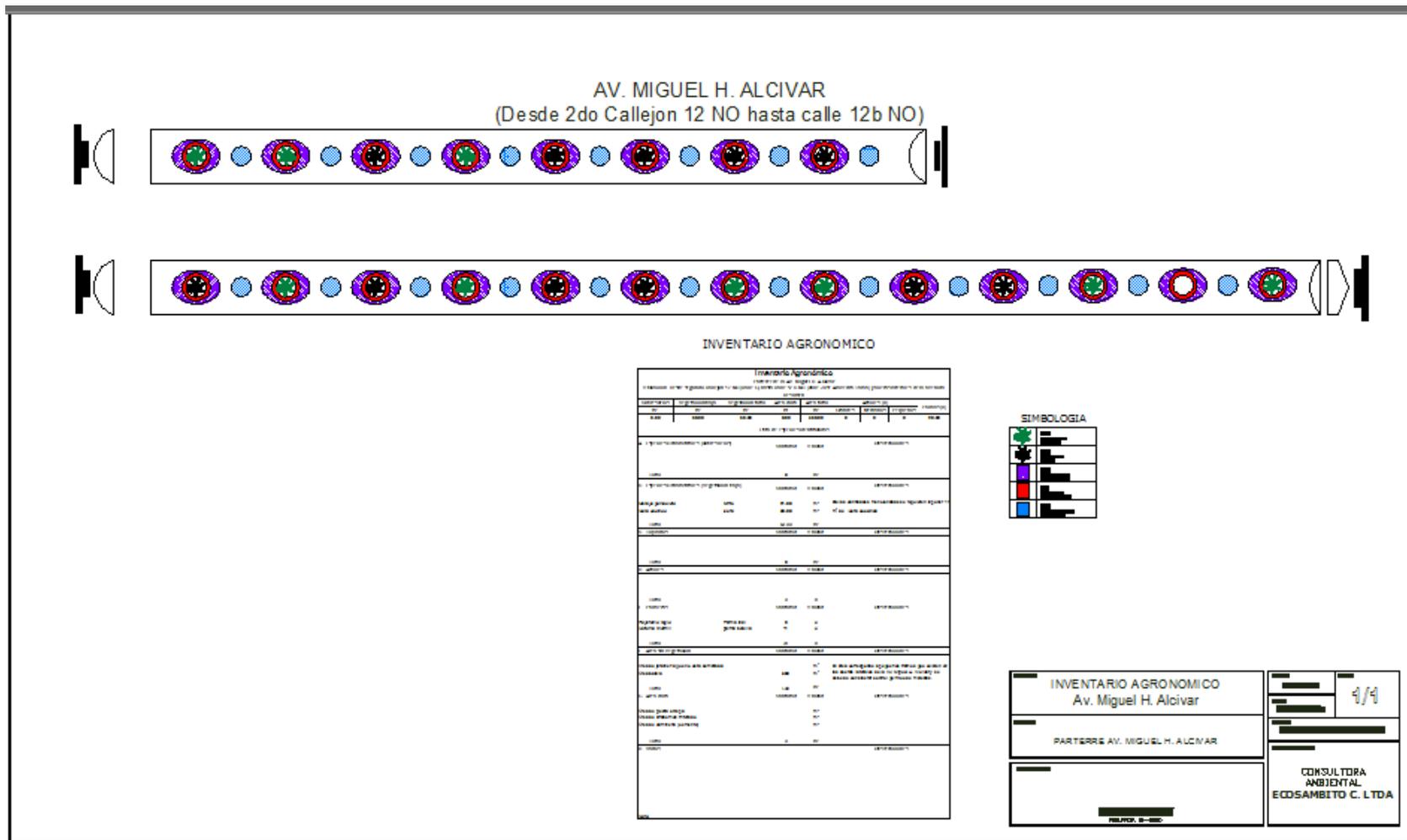
Anexo 12.- Mapa Área Francisco de Orellana



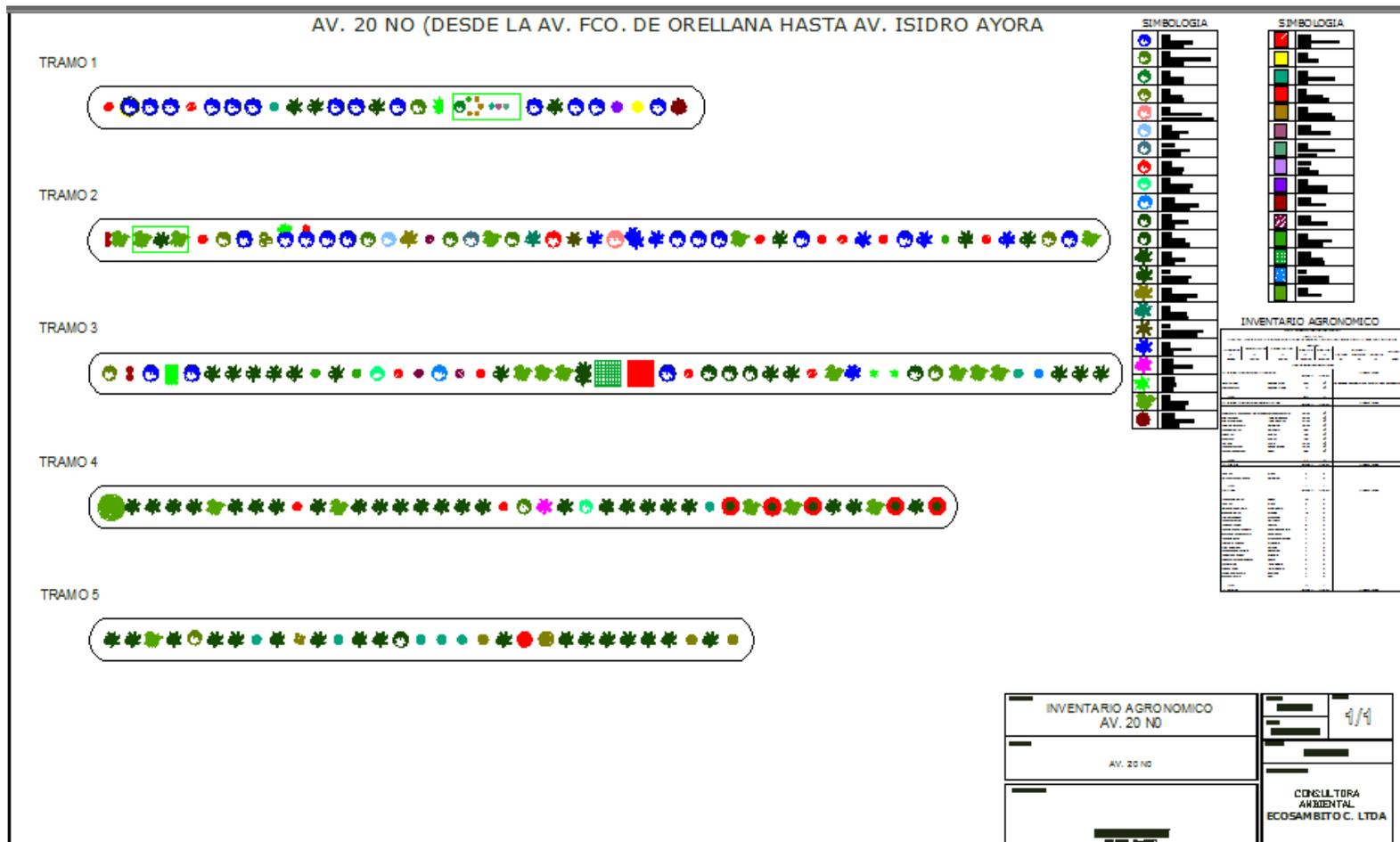
Anexo 13.- Mapa Área Avenida Francisco Rizzo



Anexo 14.- Mapa Área Avenida Miguel H. Alcívar



Anexo 15.- Mapa Área Avenida 20





Anexo 17 Mapa Área Avenida Leopoldo Benítez

AV. LEOPOLDO BENITEZ

**INVENTARIO AGRONÓMICO**

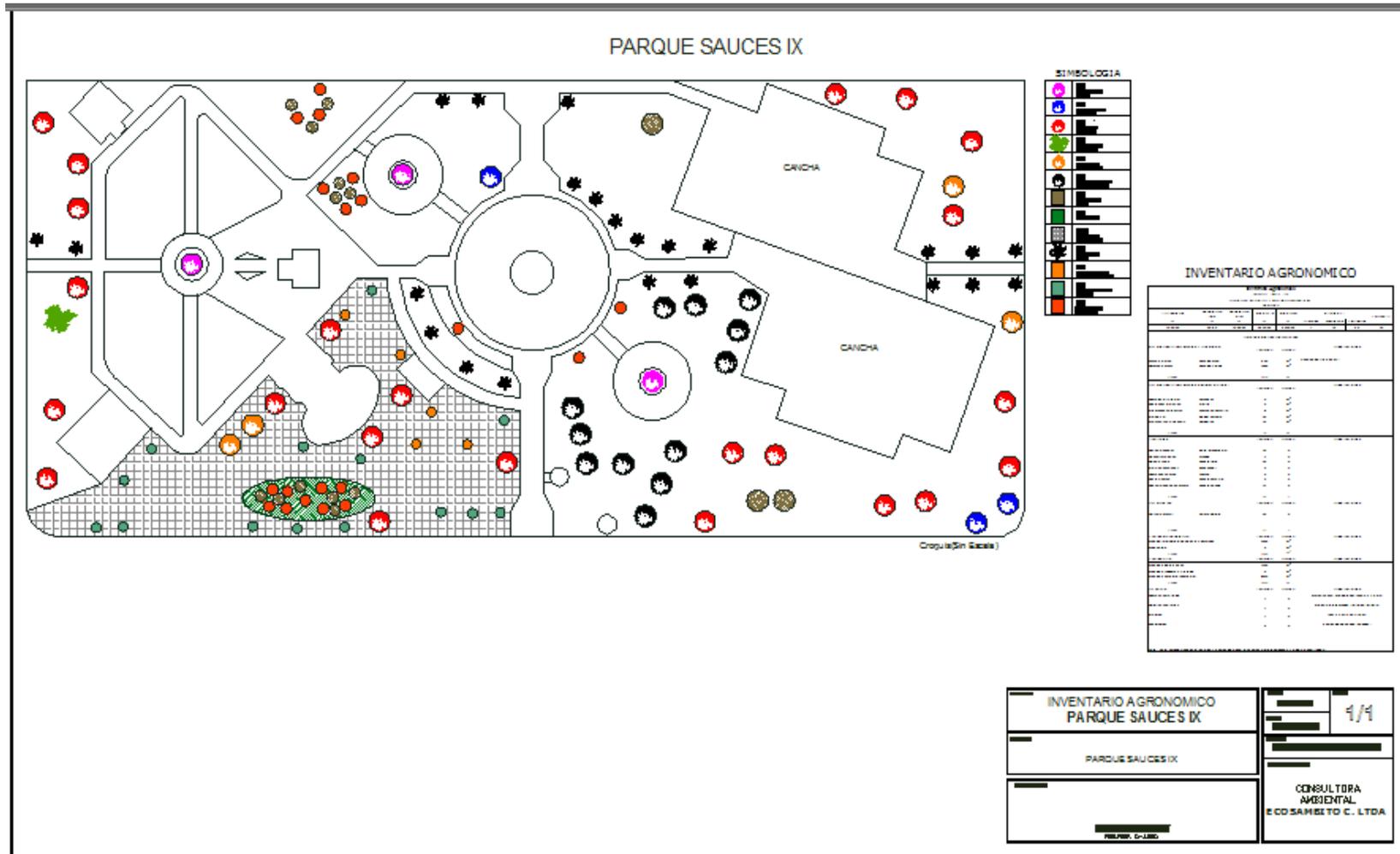
INVENTARIO AGRONÓMICO  
AV. LEOPOLDO BENITEZ DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

Categoría	Materiales	Cantidad	Unidad	Materiales		Materiales		Materiales
				Costo	Valor	Costo	Valor	
I. Materiales para mantenimiento								
A. Papeles (Osmos) (materiales)		Costo	Unidad			Osmos (materiales)		
Total		0	m²					
B. Papeles (Osmos) (Materiales)		Costo	Unidad			Osmos (materiales)		
Total		0	m²					
C. Materiales		Costo	Unidad			Osmos (materiales)		
Borrador		0	m					
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Total		0	m					
D. Materiales		Costo	Unidad			Osmos (materiales)		
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Total		0	m					
E. Materiales		Costo	Unidad			Osmos (materiales)		
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Total		0	m					
F. Materiales		Costo	Unidad			Osmos (materiales)		
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Total		0	m					
G. Materiales		Costo	Unidad			Osmos (materiales)		
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Total		0	m					
H. Materiales		Costo	Unidad			Osmos (materiales)		
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Total		0	m					
I. Materiales		Costo	Unidad			Osmos (materiales)		
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Papel		0	m					
Total		0	m					

INVENTARIO AGRONÓMICO AV. LEOPOLDO BENITEZ	1/1
AV. LEOPOLDO BENITEZ	
CONSULTORA AMBIENTAL ECOSAMBETO C. LTDA	



Anexo 19 Mapa Área Sauces IX

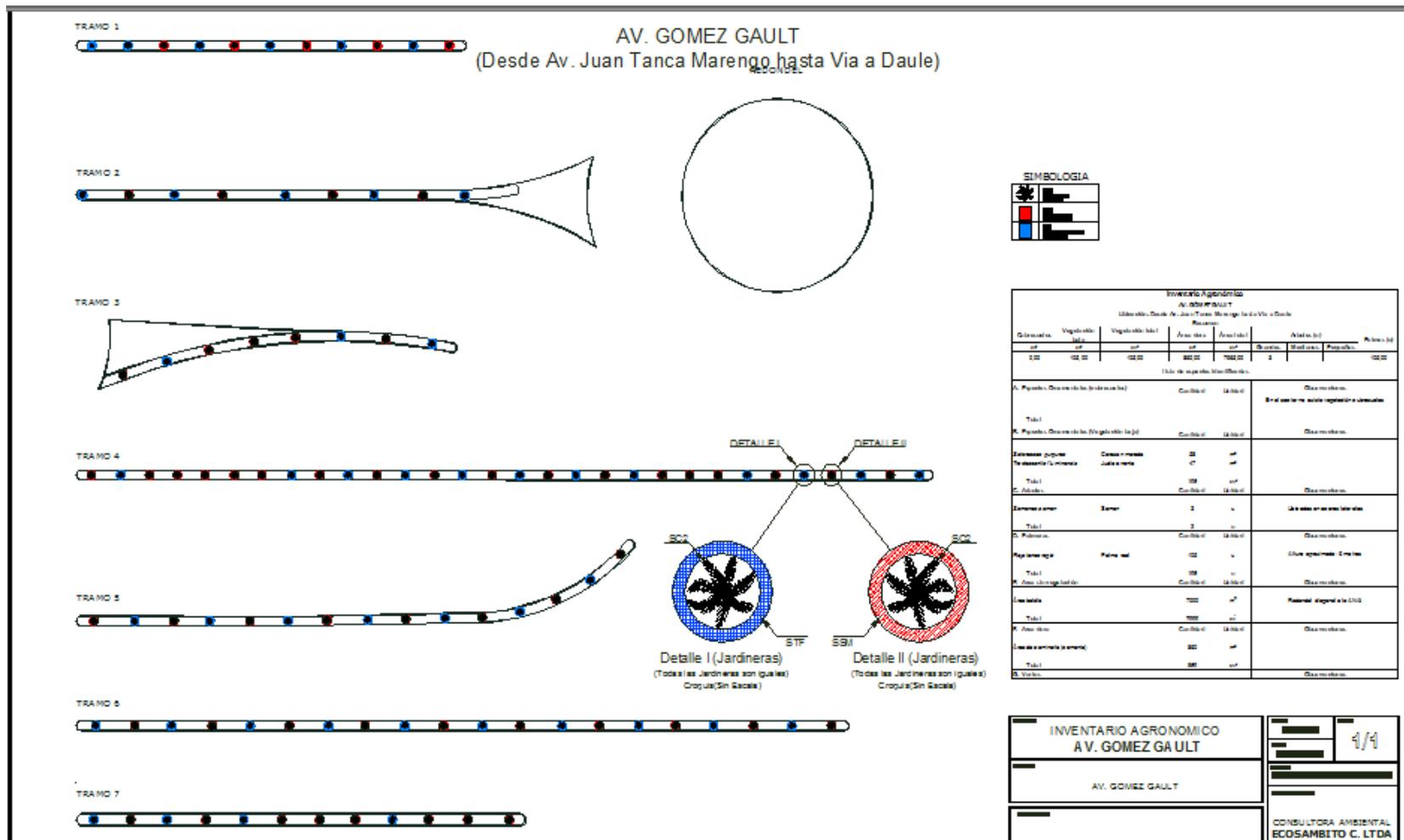








Anexo 23 Mapa Área Avenida Gómez Gault

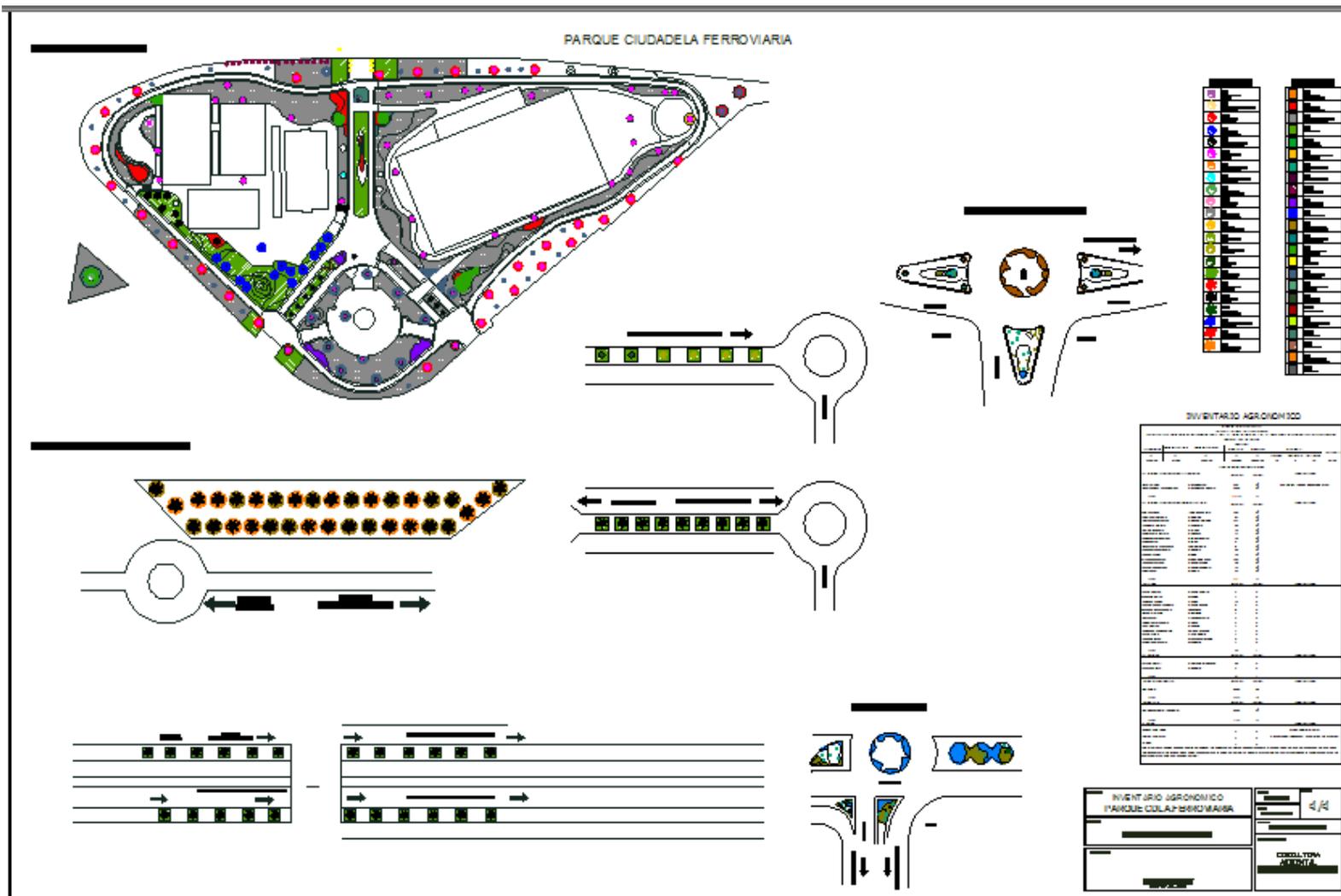








Anexo 27 Mapa Área Parque Ciudadela Ferroviaria





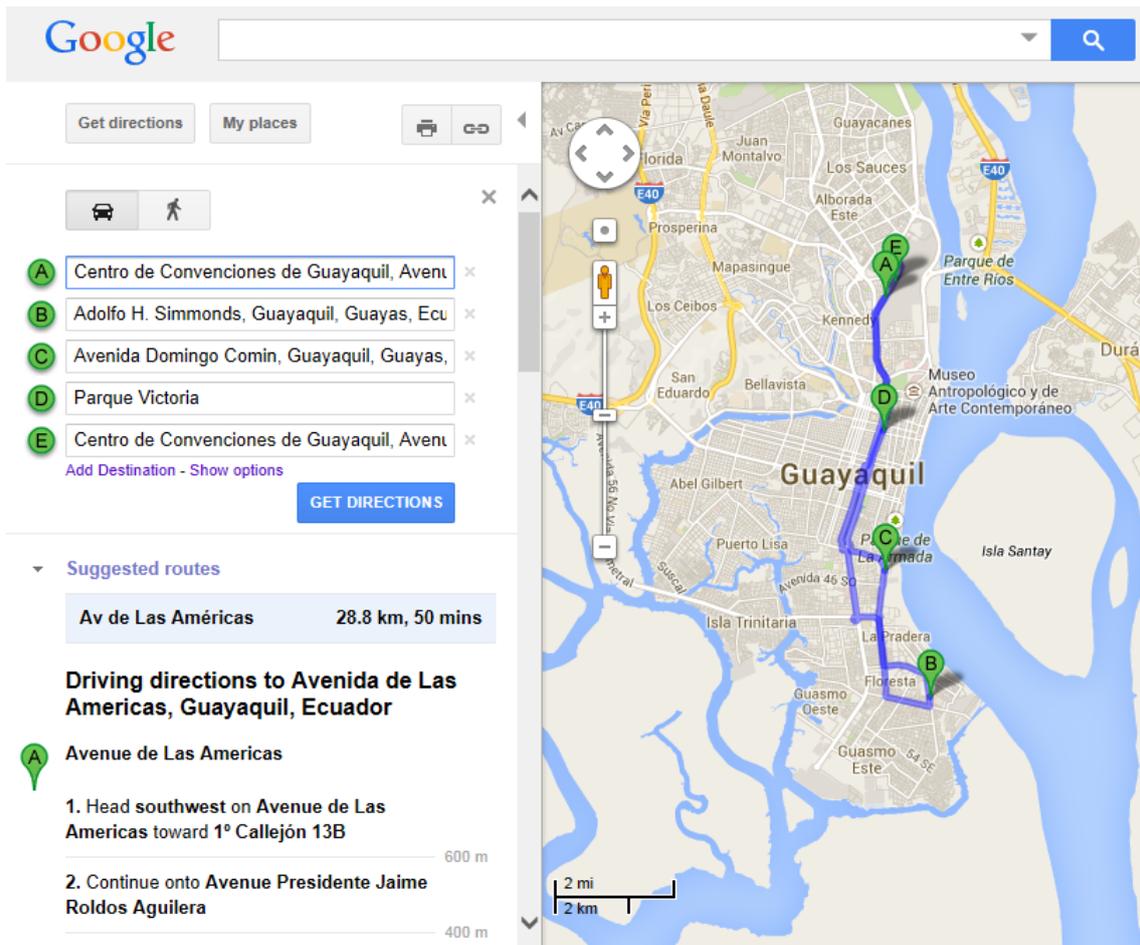
Anexo 29.- Áreas a ser visitadas por cada vehículo i Parte 1

Cada área es visitada por un solo vehículo	LUNES					MARTES					MIÉRCOLES					JUEVES					VIERNES				
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	V25
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0
1	0	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

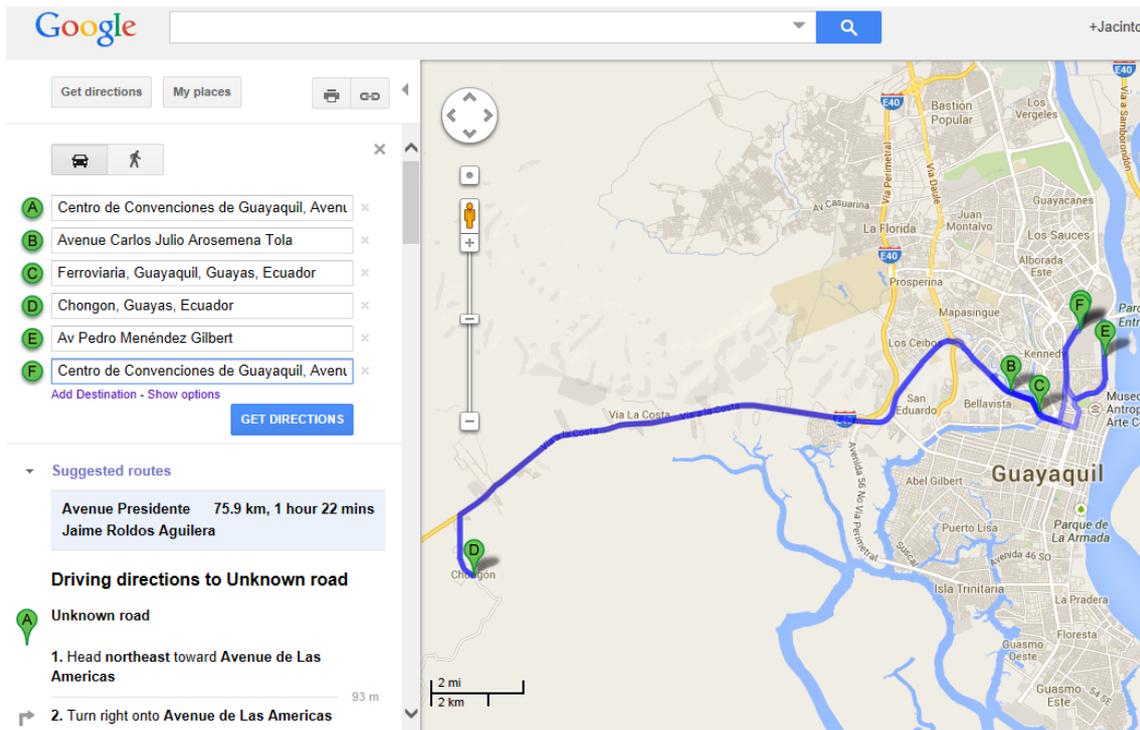
Anexo 30.- Áreas a ser visitadas por cada vehículo i Parte 2

Cada área es visitada por un solo vehículo	LUNES					MARTES					MIÉRCOLES					JUEVES					VIERNES				
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	V25
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	
1	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

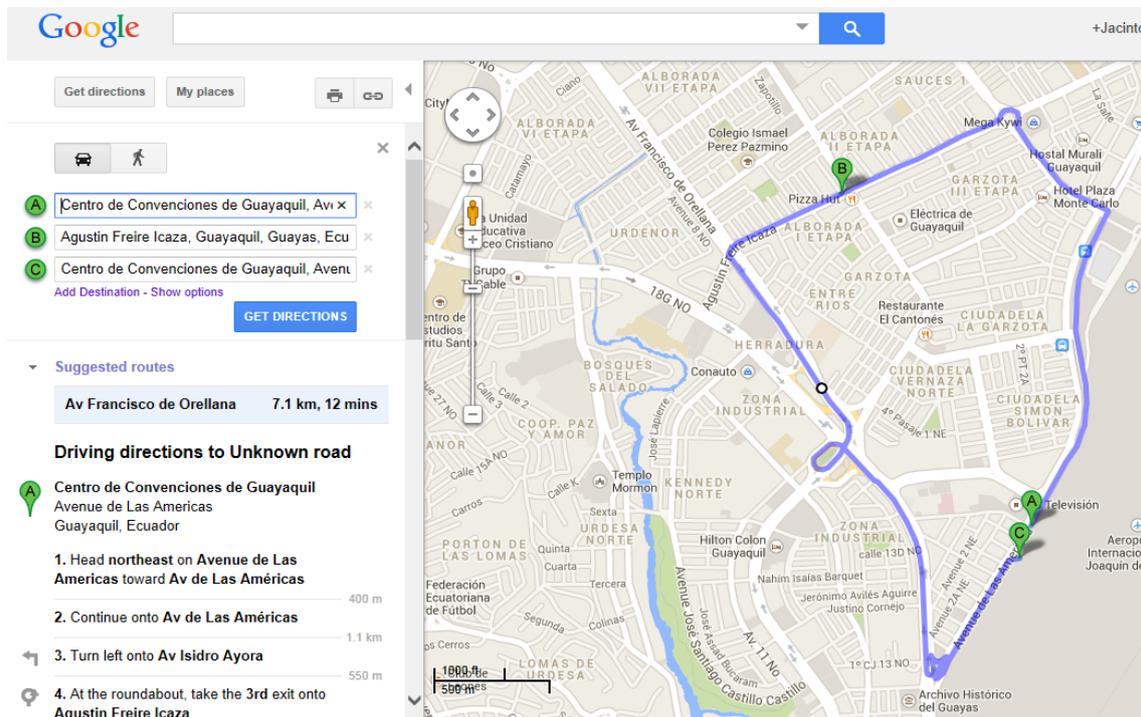
Día 1 Vehículo 1.-



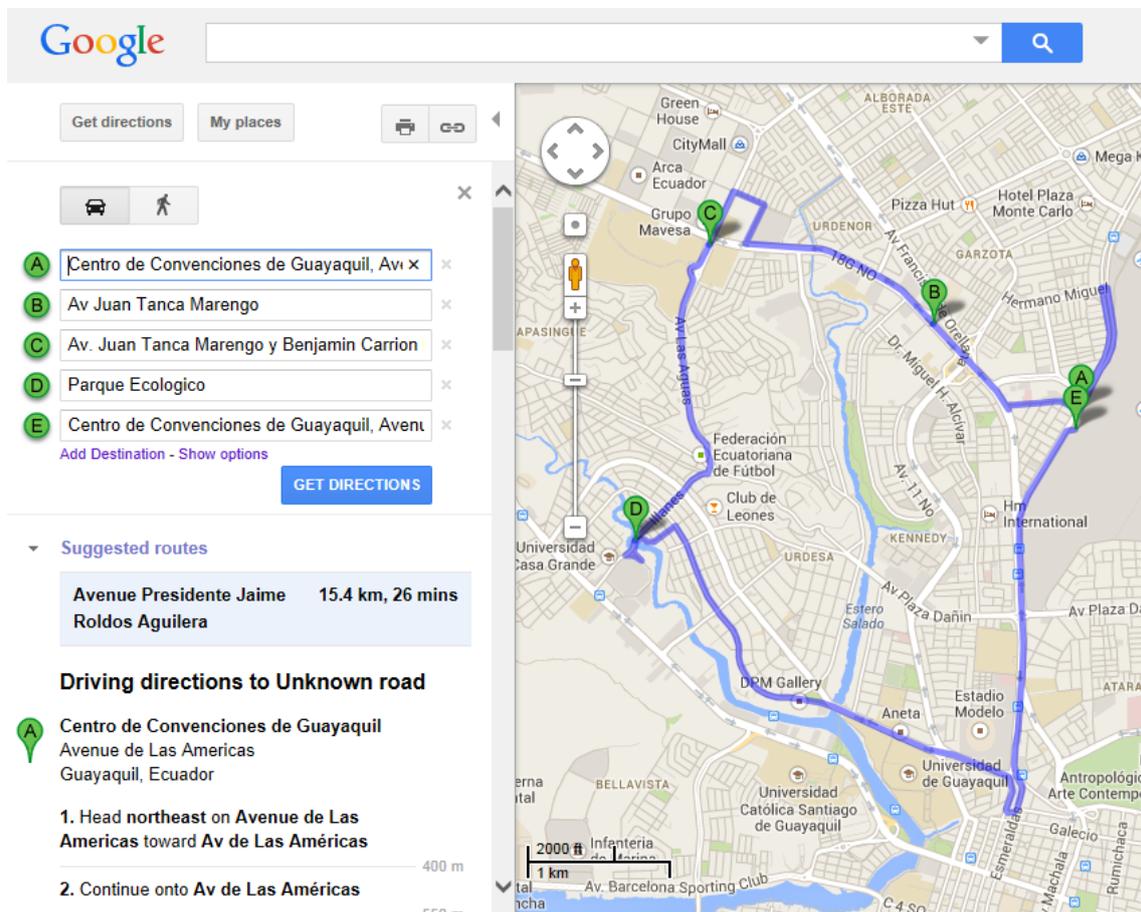
Día 1 Vehículo 2.-



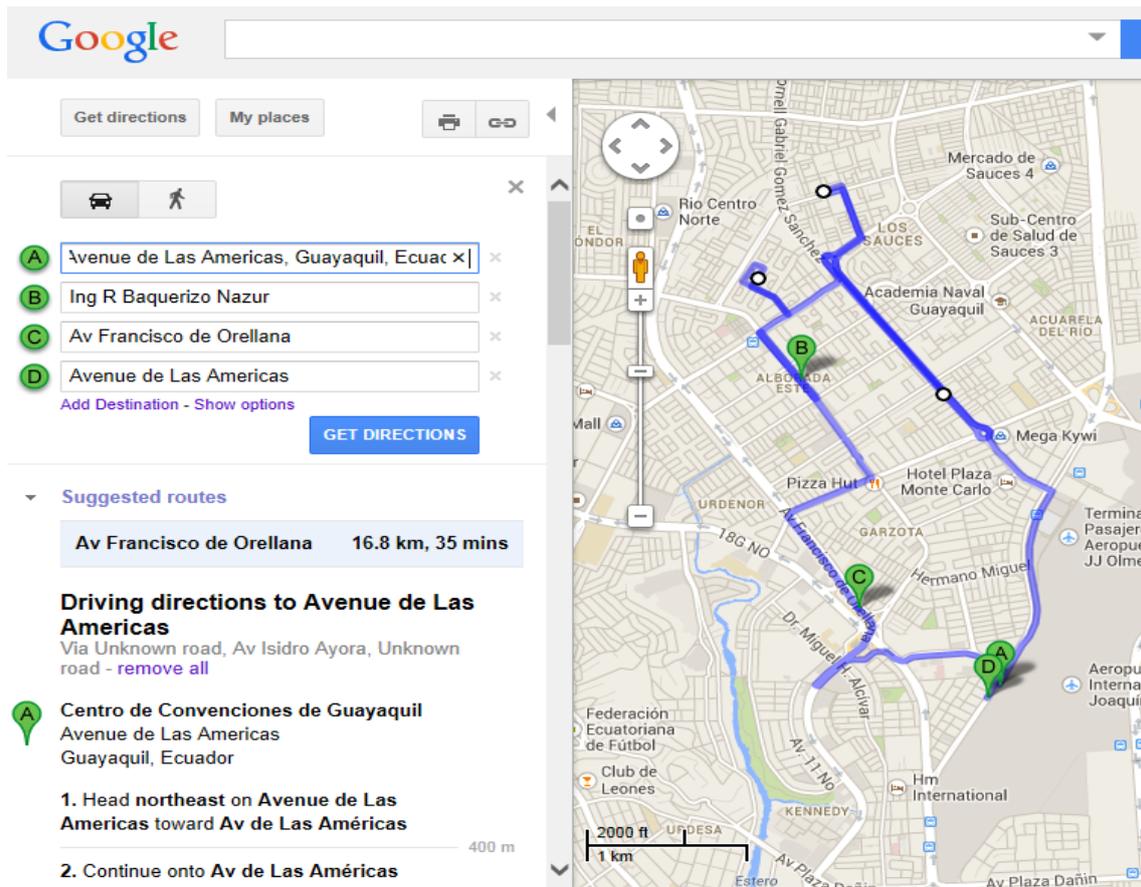
**Día 1 Vehículo 3**



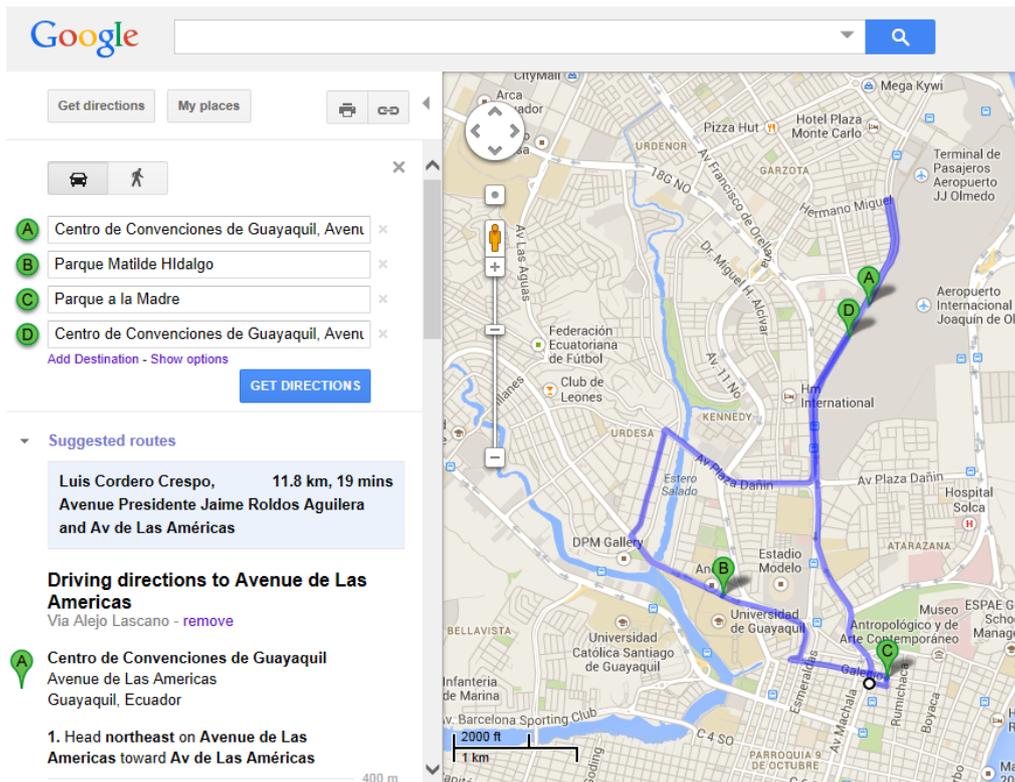
**Día 1 Vehículo 4**



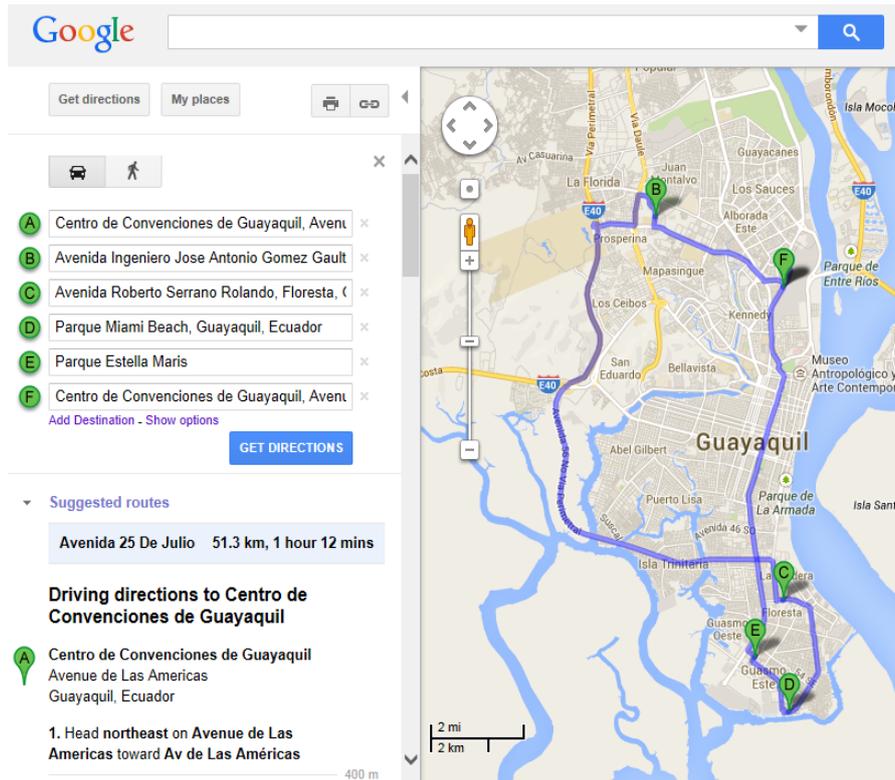
Día 2 Vehículo 1



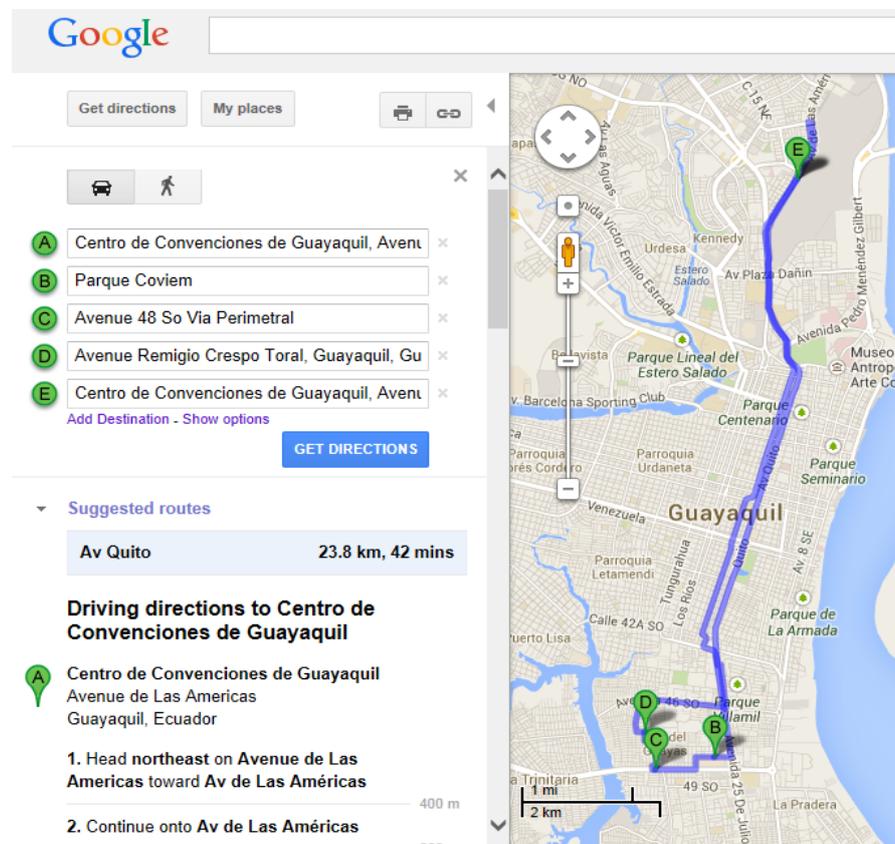
Día 2 Vehículo 2



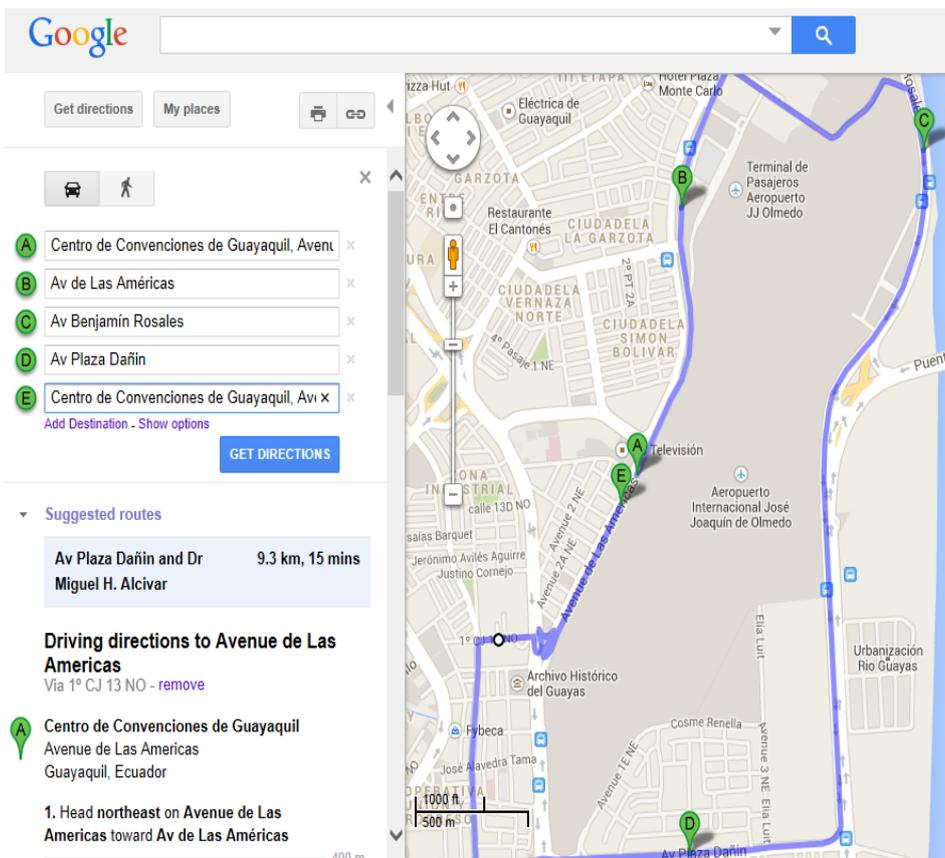
Día 2 Vehículo 3



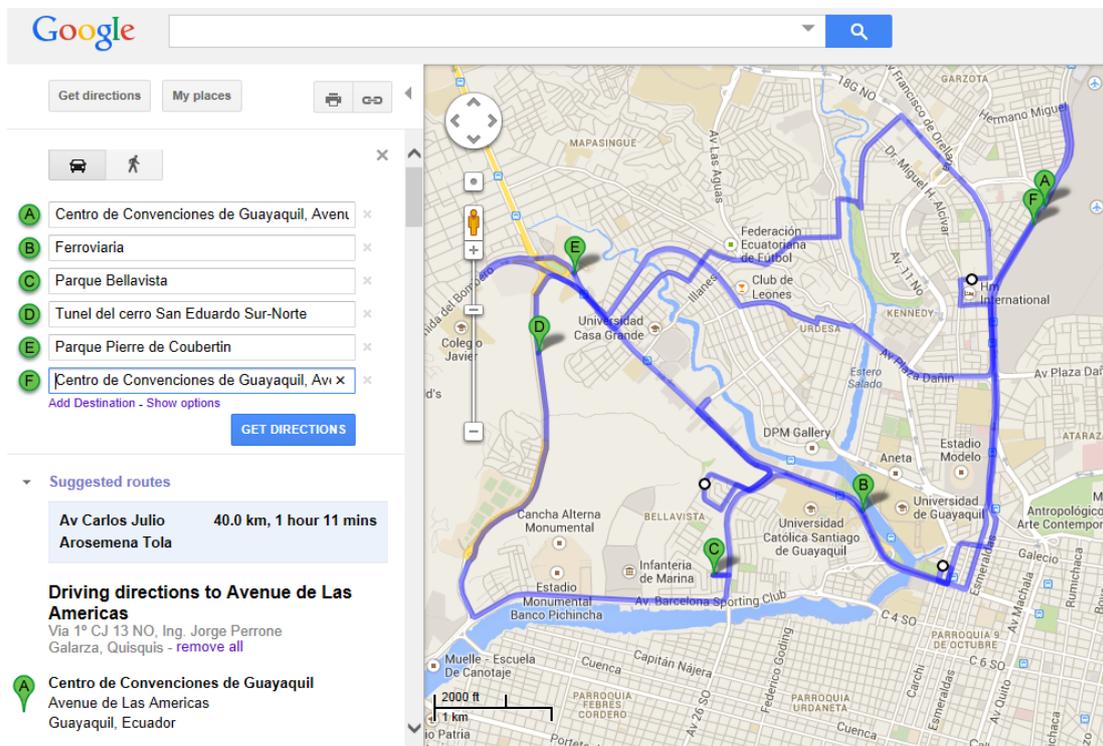
Día 2 Vehículo 4



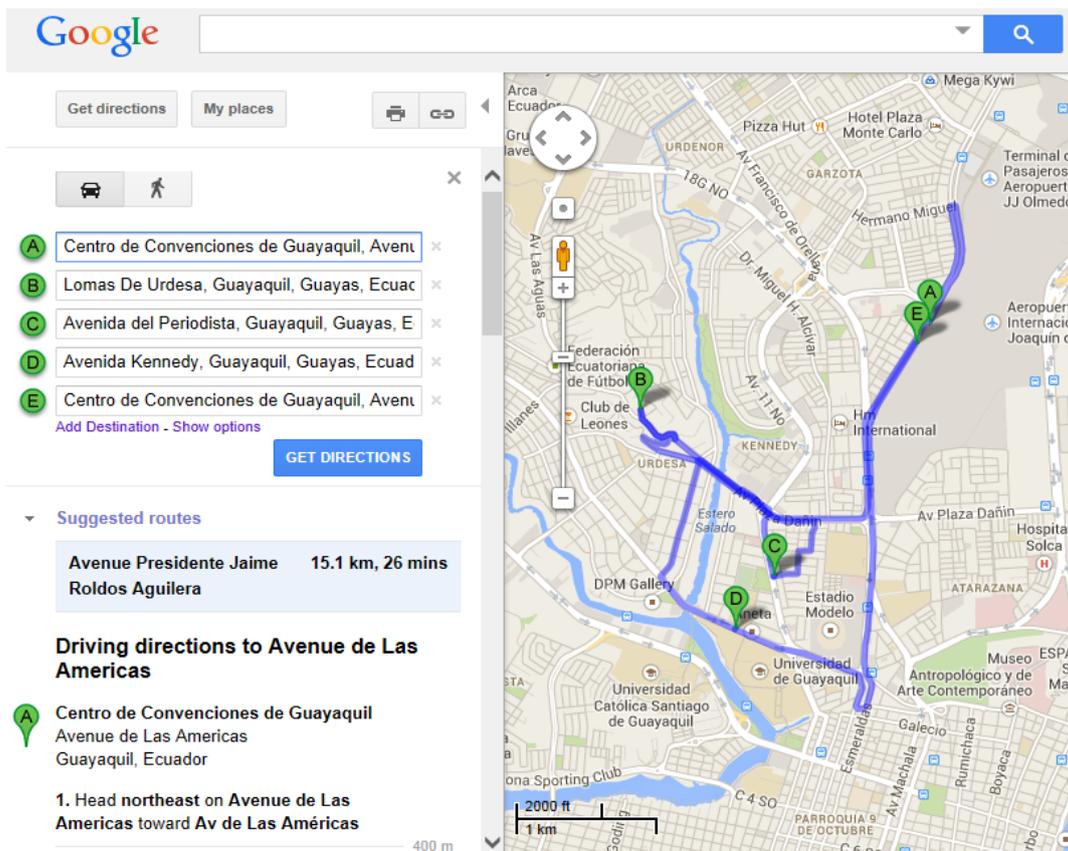
Día 3 Vehículo 1



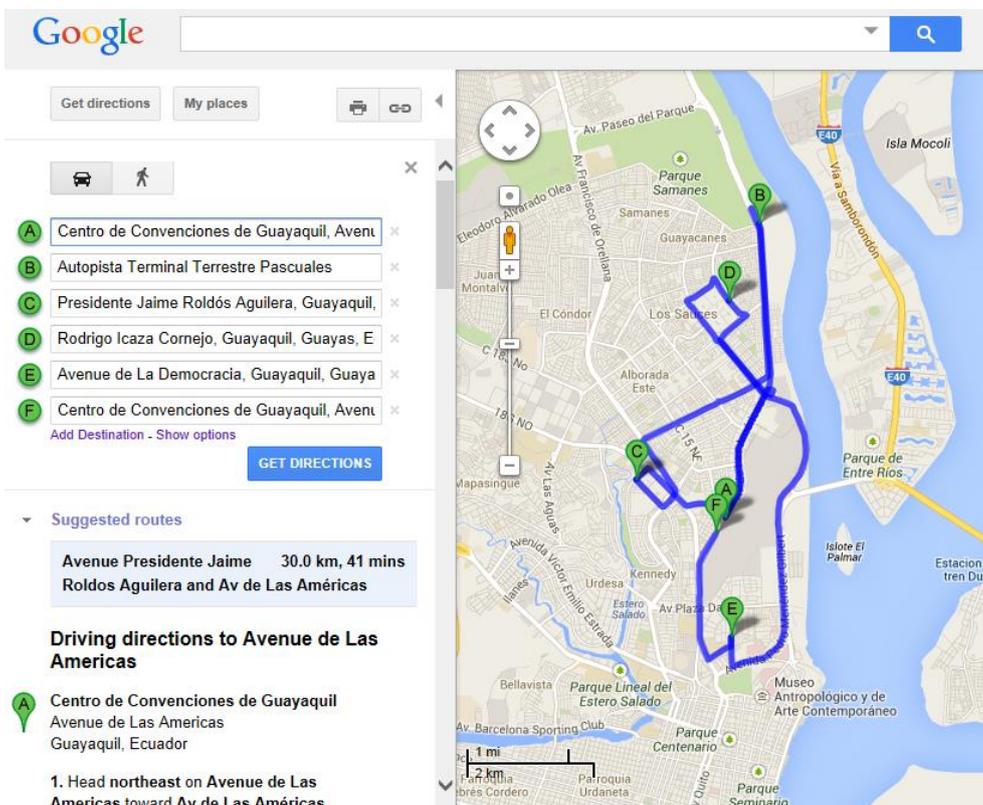
Día 3 Vehículo 2



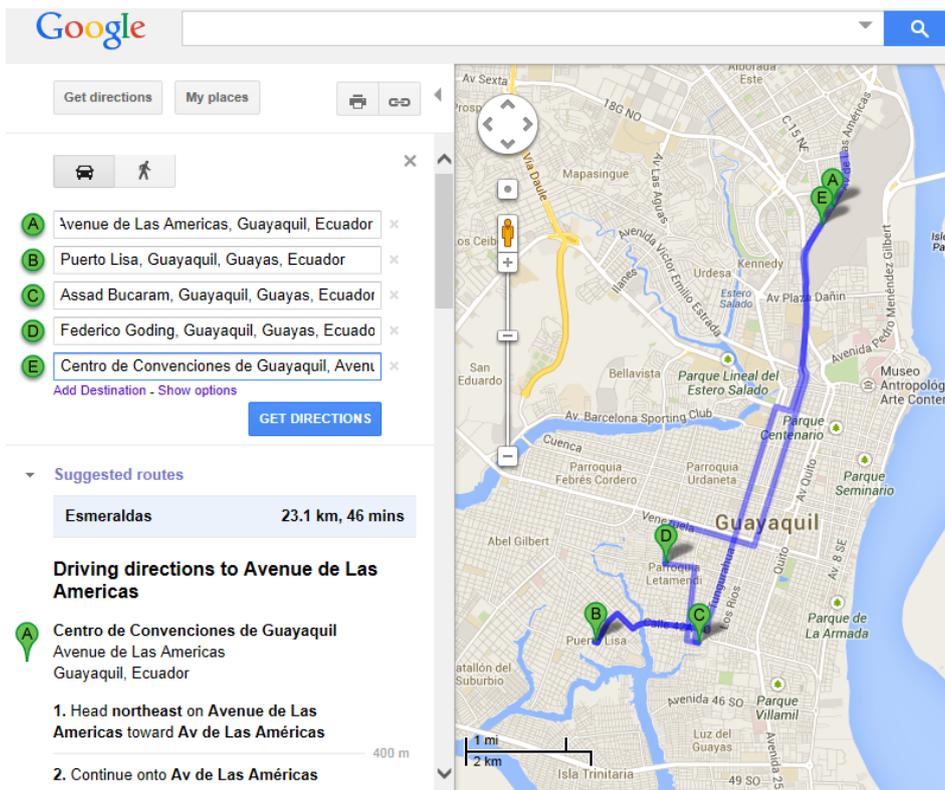
Día 3 Vehículo 3



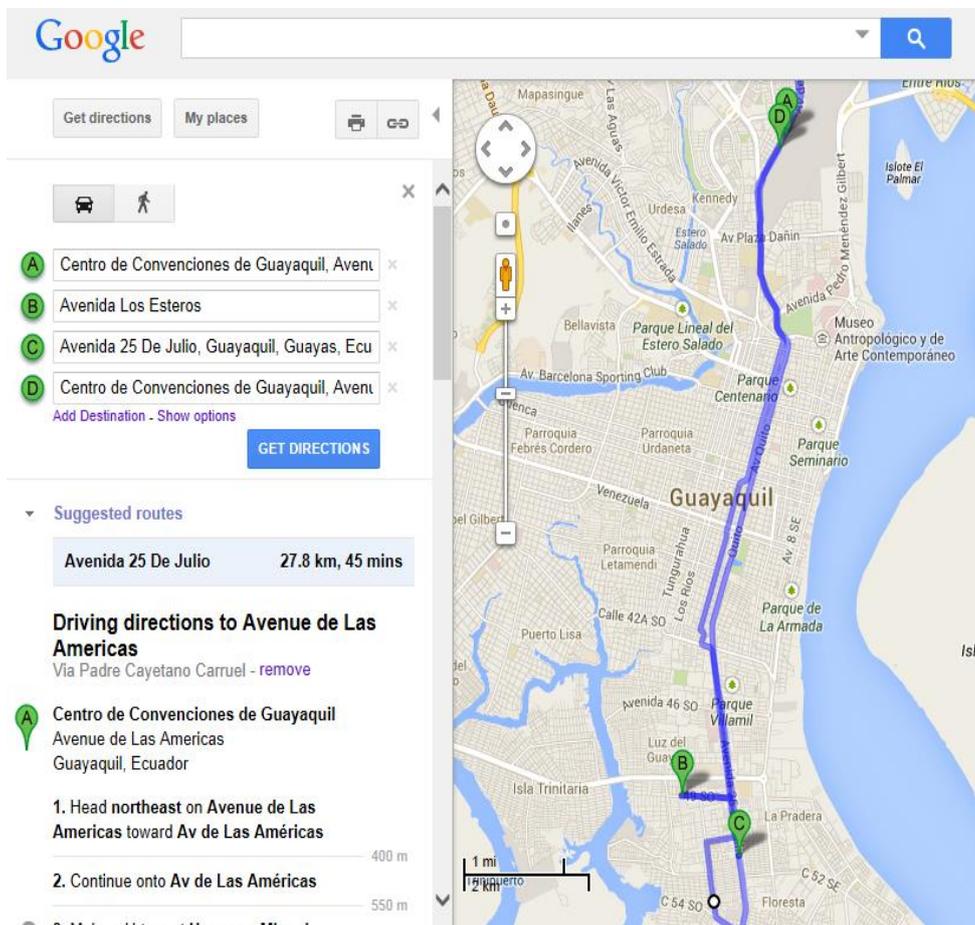
Día 4 Vehículo 1



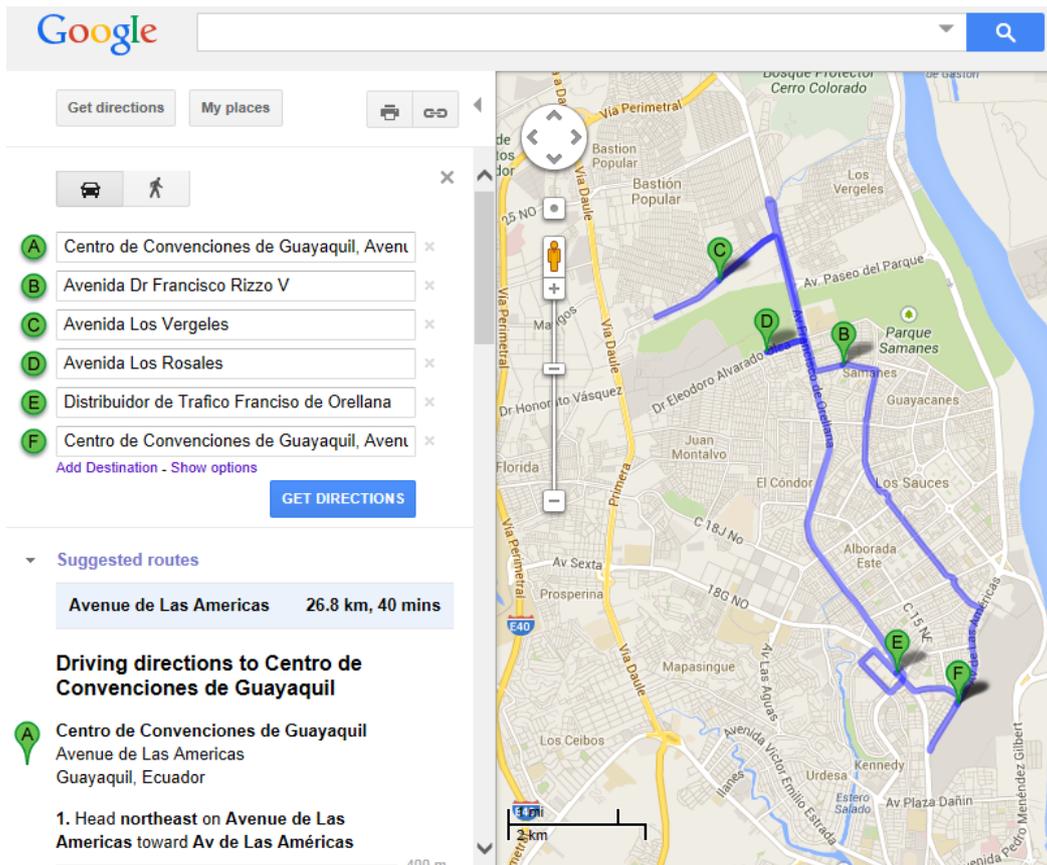
Día 4 Vehículo 2



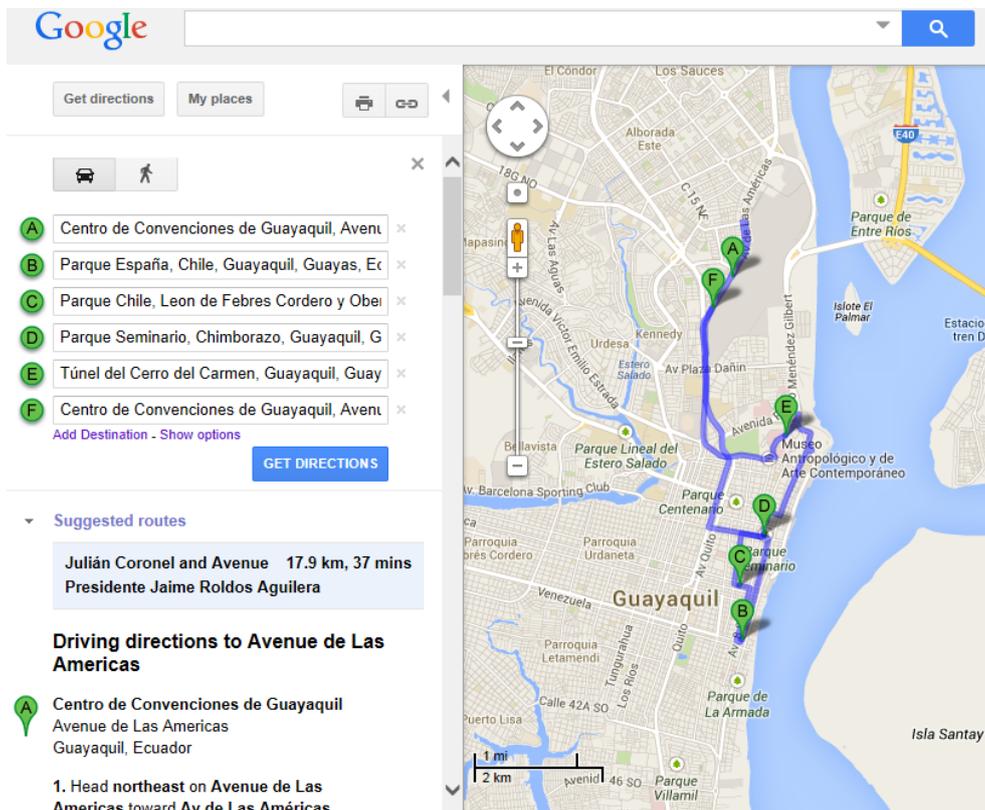
Día 4 Vehículo 3



Día 5 Vehículo 1



Día 5 Vehículo 2



Día 5 Vehículo 3

