



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ciencias Matemáticas**

**Escuela Profesional de Investigación Operativa**

**Reducción de costos de recolección y transporte de  
residuos sólidos en contenedores soterrados aplicando  
algoritmos genéticos para determinación de rutas.  
Caso: distrito Bellavista - Callao**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Investigación  
Operativa

**AUTOR**

David Jonathan ASTOQUILLCA YARANGA

**ASESOR**

Dra. Esther BERGER VIDAL

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Astoquillca, D. (2022). *Reducción de costos de recolección y transporte de residuos sólidos en contenedores soterrados aplicando algoritmos genéticos para determinación de rutas. Caso: distrito Bellavista - Callao*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Escuela Profesional de Investigación Operativa]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Metadatos complementarios

<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	David Jonathan Astoquillo Yaranga
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	44430848
URL de ORCID	-
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Esther Berger Vidal
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08766040
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0001-5282-6793">https://orcid.org/0000-0001-5282-6793</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	José Carlos Oré Luján
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06119405
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Flor Cagny Cárdenas Mariño
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	45422233
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	A.3.3.1. Optimización Matemática

Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Coordenadas geográficas Latitud: -12.058333 Longitud: -77.083333
Año o rango de años en que se realizó la investigación	(2020 - 2021)
URL de disciplinas OCDE	Matemáticas aplicadas <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02</a>



# UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú.  
Decana de América DECANATO

Foja. 11

## Anexo 6

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS POR LA MODALIDAD VIRTUAL PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA

En la Ciudad Universitaria, Facultad de Ciencias Matemáticas, siendo las 17:00 horas del día jueves 12 de mayo del año 2022, se reunieron los docentes designados como Miembros del Jurado Evaluador de Tesis:

Mg. José Carlos Oré Luján	(Presidente)
Dra. Flor Cagniy Cárdenas Mariño	(Miembro)
Dra. Esther Berger Vidal	(Miembro-Asesor)

Para la sustentación de la Tesis intitulada: *REDUCCIÓN DE COSTOS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE RESIDUOS SÓLIDOS EN CONTENEDORES SOTERRADOS APLICANDO ALGORITMOS GENÉTICOS PARA DETERMINACIÓN DE RUTAS CASO: DISTRITO BELLAVISTA-CALLAO*, presentado por el señor Bachiller David Jonathan Astoquillca Yaranga, para obtener el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Luego de la exposición de la Tesis, el Presidente invitó al expositor a dar respuesta a las preguntas formuladas.

Realizada la evaluación correspondiente por los miembros del jurado, el expositor mereció la aprobación ***Aprobado con máximos honores*** con un calificativo promedio de ***Diecinueve (19)***.

A continuación, los miembros del jurado, dan manifiesto que el participante señor Bachiller David Jonathan Astoquillca Yaranga, en virtud de haber aprobado la sustentación de su tesis, será propuesto para que se le otorgue el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Siendo las 17:50 horas, se levantó la Sesión, firmando para constancia la presente Acta en tres (3) copias originales o archivo PDF.

---

PRESIDENTE  
Mg. José Carlos Oré Luján

---

MIEMBRO  
Dra. Flor Cagniy Cárdenas Mariño

---

MIEMBRO-ASESOR  
Dra. Esther Berger Vidal

## **Dedicatoria**

*A mis padres Justo Astoquillca y  
Julia Yaranga, por brindarme la  
oportunidad de seguir estudios  
universitarios en San Marcos, por darme  
un hogar y el cariño que siempre estará  
conmigo.*

## **Agradecimientos**

*De igual manera a mis padres y hermano Yoel, por el sacrificio y la paciencia que tuvieron conmigo y a mis profesores de San Marcos, en especial a mi asesora por la paciencia al brindarme su apoyo durante el desarrollo de la presente tesis.*



## Resumen

### REDUCCIÓN DE COSTOS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE RESIDUOS SÓLIDOS EN CONTENEDORES SOTERRADOS APLICANDO ALGORITMOS GENÉTICOS EN DETERMINACIÓN DE RUTAS. CASO: DISTRITO BELLAVISTA-CALLAO

ASTOQUILLCA YARANGA, DAVID JONATHAN

MAYO 2022

**Asesor(a)** : Dra. Berger Vidal, Esther  
**Título obtenido** : Licenciado en Investigación Operativa

---

El problema de determinación de rutas eficientes, relacionadas con distancias y costos, asociadas al recojo y transporte de los residuos sólidos domésticos es recurrente a nivel nacional, que si se aborda de manera empírica puede conllevar sobrecostos innecesarios y cuando es abordado con base científica existen softwares especializados con un costo de licencia. Por tal motivo, se presenta una alternativa diseñada en NetBeans, software libre, usando lenguaje de programación Java, por medio del cual se busca una ruta eficiente en términos de distancia para visitar los contenedores soterrados ubicados a lo largo del distrito de Bellavista, Callao. Para lo cual se usó: "Grafo Tipo 1", cada nodo representa intersección de calles y avenidas principales para movilizarse al relleno sanitario; donde se usó el algoritmo de FloydWarshall para determinar rutas entre cada par de nodos. "Grafo Tipo 2", cada nodo representa un punto crítico (contenedor soterrado, maestranza, relleno sanitario); donde se usó un Algoritmo Genético para determinar el orden de visita de los contenedores soterrados en base a las rutas determinadas en "Grafo Tipo 1". Ese orden fue exportado a un archivo ".xlsx" encontrándose una disminución anual de 4295km con respecto al recorrido oficial y un ahorro de 6723 soles.

**Palabras clave:** Rutas, Algoritmos Genéticos, Contenedor Soterrado, Grafos

## Abstract

### REDUCTION OF COSTS OF COLLECTION AND TRANSPORT OF SOLID WASTE IN UNDERGROUND CONTAINERS APPLYING GENETIC ALGORITHMS IN DETERMINING ROUTES. CASE: DISTRICT BELLAVISTA- CALLAO

ASTOQUILLCA YARANGA, DAVID JONATHAN

MAY 2022

**Guiding** : Dra. Berger Vidal, Esther

**Obtained degree** : Degree in Operations Research

---

The problem about determining of efficient routes, related to distance and costs, associated with the collection and transport of domestic solid waste is recurrent at the national level which, if it's approached empirically, it can lead to unnecessary overruns cost and, if it's approached scientifically, there may be a diversity of tools where many of them have a license cost. Reason for presenting an alternative designed in NetBeans, free software, using Java programming language, through which an efficient route is sought in terms of distance to visit the underground containers located throughout the Bellavista district-Callao district. For which it was used: "Graph Type 1", each node represents the intersection of streets and main avenues to move to the sanitary landfill; where the FloydWarshall algorithm was used to determine routes between each pair of nodes. "Graph Type 2", each node represents a critical point (underground container, warehouse, landfill); where a Genetic Algorithm was used to determine the order of visit the underground containers based on the routes determined in "Graph Type 1". This order was exported to a ".xlsx" file, finding on an annual basis: a decrease of 4295km from the official route and a monetary saving of S /. 6723.

**Keywords:** Routes, Genetic Algorithms, Underground Containers, Graphs.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

FICHA CATALOGRÁFICA .....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos .....	iii
Resumen .....	iv
Abstract.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xix
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	3
1.2. Planteamiento del Problema .....	6
1.3. Formulación del Problema .....	8
1.3.1. Problema General.....	8
1.3.2. Problemas Específicos .....	8
1.4. Objetivos de la Investigación.....	8
1.4.1. Objetivo General .....	8
1.4.2. Objetivos Específicos.....	9
1.5. Hipótesis de la Investigación.....	9
1.5.1. Hipótesis General .....	9
1.5.2. Hipótesis Específicas.....	9
1.6. Justificación.....	10
1.6.1. Justificación Teórica .....	10

1.6.2. Justificación Práctica .....	11
1.7. Alcance .....	11
1.8. Limitaciones del Estudio.....	13
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
2.1. Antecedentes del Problema .....	14
2.1.1. Antecedentes Nacionales.....	14
2.1.2. Antecedentes Internacionales.....	21
2.2. Bases Teóricas .....	29
2.2.1. Teoría de Grafos.....	29
2.2.2. Grafos .....	29
2.2.3. Representación de un Grafo.....	30
2.2.4. Tipos de Relaciones en un Grafo Dirigido .....	30
2.2.5. Tipos de Grafos .....	31
2.2.6. Grafo Ponderado .....	31
2.2.7. Problemas de Optimización.....	32
2.2.8. Algoritmo.....	33
2.2.9. Algoritmos Polinomiales y Algoritmos Deterministas .....	34
2.2.10. Complejidad Algorítmica.....	34
2.2.11. Clasificación de Problemas Decidibles.....	35
2.2.12. El Problema del Agente Viajero.....	37
2.2.13. Formas de Resolución del Problema del Agente Viajero.....	39
2.2.14. Algoritmo de Dijkstra .....	40
2.2.15. Algoritmo de Floyd-Warshall.....	41
2.2.16. Números Pseudoaleatorios .....	42
2.2.17. Métodos Congruenciales Lineales.....	43
2.2.18. Algoritmos Genéticos .....	53
2.2.19. Pasos para la Implementación de Algoritmos Genéticos .....	56
2.2.20. Teorema de Esquemas .....	65
2.2.21. Un Adicional al Teorema de Esquemas .....	66

2.2.22. Diagrama para Implementar un Algoritmo Genético Elitista .....	67
2.3. Marco Conceptual .....	70
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>75</b>
3.1. Introducción.....	75
3.2. Tipo de Investigación .....	77
3.3. Diseño de la Investigación .....	78
3.4. Nivel de la Investigación.....	78
3.5. Enfoque de la Investigación .....	78
3.6. Definición de Variables de Estudio.....	79
3.7. Unidad de Análisis.....	79
3.8. Población de Estudio.....	79
3.9. Tamaño de la Muestra .....	81
3.10. Selección de la Muestra .....	81
3.11. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	81
3.12. Método .....	82
3.13. Procedimiento Previo para la Ejecución del Algoritmo Genético.....	82
3.14. Procedimiento para Construcción del Grafo.....	100
3.15. Procedimiento para Ejecución del Algoritmo Genético.....	106
3.16. Procedimiento para la Construcción del Mapa con la Ruta Determinada .....	111
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>115</b>
4.1. Resultados .....	115
4.1.1. Análisis e Interpretación de Resultados.....	115
4.1.2. Presentación de Resultados .....	131
4.1.3. Ahorro en Distancia Recorrida .....	131
4.1.4. Ahorro Monetario en Costos Variables de Nuevas Rutas .....	132
4.1.5. Beneficios Adicionales .....	134
4.1.6. Análisis de Parámetros para la Mejoría de Resultados .....	139

4.2. Validación de Hipótesis .....	140
4.2.1. Hipótesis General .....	140
4.2.2. Hipótesis Específicas .....	141
4.3. Discusión de Resultados .....	144
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>147</b>
5.1. Conclusiones.....	147
5.2. Recomendaciones.....	148
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>150</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>168</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Probabilidades de Ocurrencia Teóricas según Categorías Prueba de Póker</i> .....	50
<b>Tabla 2</b> <i>Cálculo de <math>\chi^2</math> para Prueba de Póker</i> .....	51
<b>Tabla 3</b> <i>Relación de Unidades para Recolección y Transporte de Residuos Sólidos</i> .....	76
<b>Tabla 4</b> <i>Cantidad de Contenedores Soterrados Asignados por Sector</i> .....	77
<b>Tabla 5</b> <i>Cantidad de Rutas de Recolección según Sector</i> .....	80
<b>Tabla 6</b> <i>Error Cuadrático Medio según Distribución Evaluada para Números Pseudoaleatorios Generados por el Método Congruencial</i> .....	86
<b>Tabla 7</b> <i>Resumen de Cálculos para el Estadístico de Prueba <math>\chi^2_{calculado}</math></i> .....	87
<b>Tabla 8</b> <i>Resultados Prueba de Autocorrelaciones</i> .....	89
<b>Tabla 9</b> <i>Prueba de Póker para Ordenamiento al Azar de Dígitos</i> .....	90
<b>Tabla 10</b> <i>Tamaño de Torneo para encontrar al Superindividuo según Sector</i> . 93	
<b>Tabla 11</b> <i>Comportamiento de la Media de Distancia Recorrida según Factor Popsiz para Sector G-01</i> .....	94
<b>Tabla 12</b> <i>Análisis de Popsiz según el Tiempo de Ejecución</i> .....	95
<b>Tabla 13</b> <i>Comportamiento de la Media de Distancia según Criterio para Sector G-01</i> .....	98

<b>Tabla 14</b> <i>Orden de Visita de Contenedores Soterrados y sus Respectivas Distancias</i> .....	111
<b>Tabla 15</b> <i>Distancia para Recolección y Transporte de Residuos Sólidos en G-01</i> .....	117
<b>Tabla 16</b> <i>Distancia para Recolección y Transporte de Residuos Sólidos en G-02</i> .....	119
<b>Tabla 17</b> <i>Distancia para Recolección y Transporte de Residuos Sólidos en G-03</i> .....	122
<b>Tabla 18</b> <i>Distancia para Recolección y Transporte de Residuos Sólidos en G-04</i> .....	124
<b>Tabla 19</b> <i>Distancia para Recolección y Transporte de Residuos Sólidos en G-05</i> .....	127
<b>Tabla 20</b> <i>Distancia para Recolección y Transporte de Residuos Sólidos en G-06</i> .....	129
<b>Tabla 21</b> <i>Distancias Recorridas Diarias por Rutas Propuestas vs Actuales...</i>	131
<b>Tabla 22</b> <i>Resumen de Distancias Recorridas Diarias por Rutas Propuestas vs Actuales</i> .....	132
<b>Tabla 23</b> <i>Distancia Recorrida en Periodo de Tiempo según Herramienta Utilizada</i> .....	132
<b>Tabla 24</b> <i>Escenarios de Consumo de Diesel</i> .....	133
<b>Tabla 25</b> <i>Costos de Recolección y Transporte de Rutas Actuales según Periodicidad</i> .....	133



<b>Tabla 26</b> <i>Tabla de Valores de Parámetros usados.....</i>	137
<b>Tabla 27</b> <i>Cantidad de Litros de Diesel Diarios Consumidos y Ahorro Proyectado .....</i>	137
<b>Tabla 28</b> <i>Cantidad Proyectada de Disminución de Emisión de CO<sub>2</sub> por día ..</i>	139
<b>Tabla 29</b> <i>Frecuencia Absoluta del Número de Huecos .....</i>	220
<b>Tabla 30</b> <i>Frecuencia Absoluta del Número de Huecos Agrupados .....</i>	220
<b>Tabla 31</b> <i>Tabla de Bondad de Ajuste para Prueba de Huecos.....</i>	221
<b>Tabla 32</b> <i>Frecuencia Absoluta del Número de Huecos Agrupados .....</i>	224
<b>Tabla 33</b> <i>Categorías de Distintas Posibilidades para Prueba de Póker de 5 Dígitos.....</i>	226
<b>Tabla 34</b> <i>Cálculo de Estadístico para Prueba de Póker .....</i>	227
<b>Tabla 35</b> <i>Probabilidades Teóricas según Categorías para Prueba de Póker</i>	227
<b>Tabla 36</b> <i>Agrupación de Función Aptitud según Secuencia de 30 soluciones encontradas durante la ejecución del Algoritmo Genético.....</i>	231
<b>Tabla 37</b> <i>Secuencia de 30 Soluciones brindadas por cada Tipo de Fórmula para Ruta G-01 .....</i>	232
<b>Tabla 38</b> <i>Consumo de Megabytes por cada Solución Generada según Fórmula Tipo2 y Tipo 9.....</i>	237
<b>Tabla 39</b> <i>Relación de Fórmulas Tipo 2 Disponibles .....</i>	238
<b>Tabla 40</b> <i>Secuencia de Soluciones según Popsiz para Ruta G-01 .....</i>	239
<b>Tabla 41</b> <i>P-value para Prueba de Normalidad para 30 Ejecuciones según Valor de Popsiz.....</i>	240

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Ejemplo de 5 Rutas para El Agente Viajero con 20 Ciudades</i> .....	38
<b>Figura 2</b> <i>Tabla para Cálculo de <math>\chi_c^2</math> para Bondad de Ajuste</i> .....	48
<b>Figura 3</b> <i>Ejemplo de Genotipo, Fenotipo y Decodificación</i> .....	54
<b>Figura 4</b> <i>Diagrama de Flujo Algoritmo Genético Canónico guardando la Mejor Solución</i> .....	68
<b>Figura 5</b> <i>Diagrama de Flujo de un Algoritmo Genético con Criterio Elitista</i> .....	69
<b>Figura 6</b> <i>Evolución de Coeficiente de Variación según Valor de Prob. De Mutación</i> .....	96
<b>Figura 7</b> <i>Comportamiento del Número de Generaciones para encontrar al Superindividuo para 30 y 100 Ejecuciones del Algoritmo Genético según Sector</i> .....	99
<b>Figura 8</b> <i>Clasificación de Zonas de Bellavista según Ordenamiento Municipal</i> .....	101
<b>Figura 9</b> <i>Ubicación de Contenedores Soterrados según Sector - Distrito de Bellavista</i> .....	102
<b>Figura 10</b> <i>Numeración de Contenedores Soterrados del Sector G-01</i> .....	102
<b>Figura 11</b> <i>Numeración de Contenedores Soterrados del Sector G-02</i> .....	103
<b>Figura 12</b> <i>Numeración de Contenedores Soterrados del Sector G-03</i> .....	103
<b>Figura 13</b> <i>Numeración de Contenedores Soterrados del Sector G-04</i> .....	104

<b>Figura 14</b> <i>Numeración de Contenedores Soterrados del Sector G-05</i> .....	104
<b>Figura 15</b> <i>Numeración de Contenedores Soterrados del Sector G-06</i> .....	105
<b>Figura 16</b> <i>Ejemplo de Etiquetado de Intersección de Calles</i> .....	105
<b>Figura 17</b> <i>Ejemplo de Costos en Términos de Distancia entre Nodos Adyacentes</i> .....	106
<b>Figura 18</b> <i>Matriz de Pesos del Grafo Ponderado Tipo 1</i> .....	107
<b>Figura 19</b> <i>Listado de Caminos para Grafo Tipo 1</i> .....	108
<b>Figura 20</b> <i>Matriz de Distancias Mínimas para Grafo Tipo 2</i> .....	108
<b>Figura 21</b> <i>Matriz de Listado de Caminos Mínimos para Grafo Tipo 2</i> .....	109
<b>Figura 22</b> <i>Resultados de la Ejecución del Algoritmo Genético en NetBeans</i> .	110
<b>Figura 23</b> <i>Resultados de la Ejecución del Algoritmo Genético Exportados a Excel</i> <i>(* .xlsx)</i> .....	110
<b>Figura 24</b> <i>Listado de Caminos para Nodos de Puntos Críticos - Ruta G-03</i> ..	112
<b>Figura 25</b> <i>Grafo Tipo 1 para Sector G-03</i> .....	113
<b>Figura 26</b> <i>Ruta de Recolección para Sector G-03</i> .....	114
<b>Figura 27</b> <i>Ruta de Transporte para Sector G-03</i> .....	114
<b>Figura 28</b> <i>Ruta de Recolección Determinada por el Algoritmo Genético para G-</i> <i>01</i> .....	116
<b>Figura 29</b> <i>Evolución de la Media y Mejor Solución en cada Generación para Ruta</i> <i>G-01</i> .....	117
<b>Figura 30</b> <i>Evolución Coeficiente de Variación de Población por Generación para</i> <i>G-01</i> .....	118

<b>Figura 31</b> <i>Ruta de Recolección Determinada por el Algoritmo Genético para G-02</i> .....	119
<b>Figura 32</b> <i>Evolución de la Media y Mejor Solución en cada Generación para Ruta G-02</i> .....	120
<b>Figura 33</b> <i>Evolución Coeficiente de Variación de Población por Generación para G-02</i> .....	120
<b>Figura 34</b> <i>Ruta de Recolección Determinada por el Algoritmo Genético para G-03</i> .....	121
<b>Figura 35</b> <i>Evolución de la Media y Mejor Solución en cada Generación para Ruta G-03</i> .....	122
<b>Figura 36</b> <i>Evolución Coeficiente de Variación de Población por Generación para G-03</i> .....	123
<b>Figura 37</b> <i>Ruta de Recolección Determinada por el Algoritmo Genético para G-04</i> .....	124
<b>Figura 38</b> <i>Evolución de la Media y Mejor Solución en cada Generación para Ruta G-04</i> .....	125
<b>Figura 39</b> <i>Evolución Coeficiente de Variación de Población por Generación para G-04</i> .....	125
<b>Figura 40</b> <i>Ruta de Recolección Determinada por el Algoritmo Genético para G-05</i> .....	126
<b>Figura 41</b> <i>Evolución de la Media y Mejor Solución en cada Generación para Ruta G-05</i> .....	127

<b>Figura 42</b> <i>Evolución Coeficiente de Variación de Población por Generación para G-05.....</i>	128
<b>Figura 43</b> <i>Ruta de Recolección Determinada por el Algoritmo Genético para G-06.....</i>	129
<b>Figura 44</b> <i>Evolución de la Media y Mejor Solución en cada Generación para Ruta G-06.....</i>	130
<b>Figura 45</b> <i>Evolución Coeficiente de Variación de Población por Generación para G-06.....</i>	130
<b>Figura 46</b> <i>Cuadro de Diálogo para t de 1 Muestra para Media en Minitab 19</i>	214
<b>Figura 47</b> <i>Resultados de Prueba t de 1 muestra para Media en Minitab 19 ..</i>	214
<b>Figura 48</b> <i>Cuadro de Diálogo para Varianza de una Muestra en Minitab 19..</i>	215
<b>Figura 49</b> <i>Resultados de la Prueba Varianza de una Muestra en Minitab 19</i>	215
<b>Figura 50</b> <i>Resumen de datos de la Sucesión Ingresada.....</i>	216
<b>Figura 51</b> <i>Resultados de Bondad de Ajuste en Input Analyzer .....</i>	216
<b>Figura 52</b> <i>Error Cuadrático Medio según Distribución Comparada.....</i>	217
<b>Figura 53</b> <i>Clasificación de Números Pseudoaleatorios según cumplimiento de Intervalos. ....</i>	219
<b>Figura 54</b> <i>Cuadro de Diálogo de Función de Autocorrelación en Minitab 19 .</i>	222
<b>Figura 55</b> <i>Resultados de Ejecución de Autocorrelación en Minitab 19 .....</i>	223
<b>Figura 56</b> <i>Clasificador de Categorías de Prueba de Póker en Excel .....</i>	225
<b>Figura 57</b> <i>Cuadro de Diálogo para Prueba de Corridas en Minitab.....</i>	229
<b>Figura 58</b> <i>Resultados de Ejecución de Prueba de Corridas en Minitab 19 ....</i>	229

<b>Figura 59</b> <i>Comportamiento de Secuencia de 30 Soluciones encontradas según Tipo de Fórmula.....</i>	233
<b>Figura 60</b> <i>Prueba de Igualdad de Varianzas en Minitab 19 para Secuencia de 30 Soluciones según Tipo de Fórmula Utilizada.....</i>	234
<b>Figura 61</b> <i>Resultados de Prueba de Igualdad de Varianzas en Minitab 19 para Secuencia de 30 Soluciones según Tipo de Fórmula Utilizada .....</i>	235
<b>Figura 62</b> <i>Prueba ANOVA de Un Solo Factor en Minitab 19 para Secuencia de 30 Soluciones según Tipo de Fórmula Utilizada.....</i>	235
<b>Figura 63</b> <i>Cuadro de Diálogo para Análisis de Varianza de un solo factor aplicando Procedimiento de comparación Sin Presuponer Varianzas Iguales: Games-Howell .....</i>	236
<b>Figura 64</b> <i>Resultados de Comparación de Medias utilizando el Procedimiento de Games-Howell .....</i>	236
<b>Figura 65</b> <i>Cuadro de Diálogo para Prueba de Igualdad de Varianzas en Minitab 19.....</i>	241
<b>Figura 66</b> <i>Resultados de Prueba de Igualdad de Varianzas en Minitab 19....</i>	241
<b>Figura 67</b> <i>Resultados de Prueba de Igualdad de Medias .....</i>	242
<b>Figura 68</b> <i>Resultados de Prueba de Igualdad.....</i>	242
<b>Figura 69</b> <i>Cuadro de Diálogo de Análisis de un Factor con Igualdad de Varianzas .....</i>	243
<b>Figura 70</b> <i>Resultados de Prueba de Igualdad de Varianzas para Distribuciones Normales .....</i>	244

<b>Figura 71</b> <i>Resultados de Prueba de Tukey para Comparar Medias</i> .....	244
<b>Figura 72</b> <i>Comportamiento de Aparición de la Mejor Solución para un Total de 100 Ejecuciones</i> .....	253
<b>Figura 73</b> <i>Comportamiento de Cromosomas de la 1<sup>º</sup>, 2<sup>º</sup>, 40<sup>º</sup> Población Intermedia según Elitismo</i> .....	260
<b>Figura 74</b> <i>Movimientos Provocados durante el Método de Ordenación de la Burbuja</i> .....	261

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> <i>Matriz de Consistencia</i> .....	168
<b>Anexo 2.</b> <i>Matriz de Operacionalización de Variables</i> .....	171
<b>Anexo 3.</b> <i>Grafo Tipo 1 para Ruta G-01 para Aplicación de Algoritmo de Floyd Warshall</i> .....	173
<b>Anexo 4.</b> <i>Grafo Tipo 1 para Ruta G-02 para Aplicación de Algoritmo de Floyd Warshall</i> .....	174
<b>Anexo 5.</b> <i>Grafo Tipo 1 para Ruta G-03 para Aplicación de Algoritmo de Floyd Warshall</i> .....	175
<b>Anexo 6.</b> <i>Grafo de Tipo 1 para Ruta G-04 para Aplicación de Algoritmo de Floyd Warshall</i> .....	176
<b>Anexo 7.</b> <i>Grafo Tipo 1 para Ruta G-05 para Aplicación de Algoritmo de Floyd Warshall</i> .....	177
<b>Anexo 8.</b> <i>Grafo Tipo 1 para Ruta G-06 para Aplicación de Algoritmo de Floyd Warshall</i> .....	178
<b>Anexo 9.</b> <i>Grafo Tipo 2 para Aplicación del Algoritmo Genético con un Criterio Elitista</i> .....	179
<b>Anexo 10.</b> <i>Grafo Tipo 2 para Ruta G-02 para Aplicación del Algoritmo Genético con un Criterio Elitista</i> .....	180



<b>Anexo 11.</b> <i>Grafo Tipo 2 para Ruta G-03 para Aplicación del Algoritmo Genético con un Criterio Elitista</i> .....	181
<b>Anexo 12.</b> <i>Grafo Tipo 2 para Ruta G-04 para Aplicación del Algoritmo Genético con un Criterio Elitista</i> .....	182
<b>Anexo 13.</b> <i>Grafo Tipo 2 para Ruta G-05 para Aplicación del Algoritmo Genético con un Criterio Elitista</i> .....	183
<b>Anexo 14.</b> <i>Grafo Tipo 2 para Ruta G-06 para Aplicación del Algoritmo Genético con un Criterio Elitista</i> .....	184
<b>Anexo 15.</b> <i>Matriz de Distancias Mínimas de Grafo Tipo 2 para Ruta G-01 para Aplicación del Algoritmo Genético Elitista</i> .....	185
<b>Anexo 16.</b> <i>Matriz de Distancias Mínimas de Grafo Tipo 2 para Ruta G-02 para Aplicación del Algoritmo Genético Elitista</i> .....	186
<b>Anexo 17.</b> <i>Matriz de Distancias Mínimas de Grafo Tipo 2 para Ruta G-03 para Aplicación del Algoritmo Genético Elitista</i> .....	187
<b>Anexo 18.</b> <i>Matriz de Distancias Mínimas de Grafo Tipo 2 para Ruta G-04 para Aplicación del Algoritmo Genético Elitista</i> .....	188
<b>Anexo 19.</b> <i>Matriz de Distancias Mínimas de Grafo Tipo 2 para G-05 para Aplicación del Algoritmo Genético Elitista</i> .....	189
<b>Anexo 20.</b> <i>Matriz de Distancias Mínimas de Grafo Tipo 2 para G-06 para Aplicación del Algoritmo Genético Elitista</i> .....	190
<b>Anexo 21.</b> <i>Diagrama de Bloque de Proceso de Construcción de Rutas</i> .....	191
<b>Anexo 22.</b> <i>Contenedores Asignados a Ruta G-01</i> .....	192

<b>Anexo 23.</b> <i>Contenedores Asignados a Ruta G-02</i> .....	193
<b>Anexo 24.</b> <i>Contenedores Asignados a Ruta G-03</i> .....	194
<b>Anexo 25.</b> <i>Contenedores Asignados a Ruta G-04</i> .....	195
<b>Anexo 26.</b> <i>Contenedores Asignados a Ruta G-05</i> .....	196
<b>Anexo 27.</b> <i>Contenedores Asignados a Ruta G-06</i> .....	197
<b>Anexo 28.</b> <i>Mapa de Ruta de Recolección Propuesta para Ruta G-01</i> .....	198
<b>Anexo 29.</b> <i>Mapa de Ruta de Transporte Propuesta para Ruta G-01</i> .....	199
<b>Anexo 30.</b> <i>Mapa de Ruta de Recolección Propuesta para Ruta G-02</i> .....	200
<b>Anexo 31.</b> <i>Mapa de Ruta de Transporte Propuesta para Ruta G-02</i> .....	201
<b>Anexo 32.</b> <i>Mapa de Ruta de Recolección Propuesta para Ruta G-03</i> .....	202
<b>Anexo 33.</b> <i>Mapa de Ruta de Transporte Propuesta para Ruta G-03</i> .....	203
<b>Anexo 34.</b> <i>Mapa de Ruta de Recolección Propuesta para Ruta G-04</i> .....	204
<b>Anexo 35.</b> <i>Mapa de Ruta de Transporte Propuesta para Ruta G-04</i> .....	205
<b>Anexo 36.</b> <i>Mapa de Ruta de Recolección Propuesta para Ruta G-05</i> .....	206
<b>Anexo 37.</b> <i>Mapa de Ruta de Transporte Propuesta para Ruta G-05</i> .....	207
<b>Anexo 38.</b> <i>Mapa de Ruta de Recolección Propuesta para Ruta G-06</i> .....	208
<b>Anexo 39.</b> <i>Mapa de Ruta de Transporte Propuesta para Ruta G-06</i> .....	209
<b>Anexo 40.</b> <i>Fotos de Servicio de Evacuación de Contenedores</i> .....	210
<b>Anexo 41.</b> <i>Coeficiente de Variación según Probabilidad de Mutación</i> .....	211
<b>Anexo 42.</b> <i>Procedimiento de Prueba de Medias en Minitab 19</i> .....	214
<b>Anexo 43.</b> <i>Procedimiento de Prueba de Varianza en Minitab 19</i> .....	215
<b>Anexo 44.</b> <i>Procedimiento de Bondad de Ajuste usando Input Analyzer</i> .....	216

<b>Anexo 45.</b> <i>Prueba de Huecos - Números Reales Pseudoaleatorios en Excel</i>	218
<b>Anexo 46.</b> <i>Prueba de Autocorrelaciones en Minitab 19</i> .....	222
<b>Anexo 47.</b> <i>Prueba de Póker en Excel</i> .....	225
<b>Anexo 48.</b> <i>Prueba de Corridas en Minitab 19</i> .....	229
<b>Anexo 49.</b> <i>Descripción de Posibles Funciones Aptitud y Agrupación según Secuencia de Soluciones determinadas</i> .....	230
<b>Anexo 50.</b> <i>Análisis Minitab – Prueba de Games-Howell para Medias de la Sucesión de Soluciones según Tipo de Fórmula</i> .....	234
<b>Anexo 51.</b> <i>Funciones Aptitud Tipo 2 Disponibles</i> .....	238
<b>Anexo 52.</b> <i>Análisis para Determinación de Popsiize</i> .....	239
<b>Anexo 53.</b> <i>Prueba de Rangos Múltiples de Tukey en Minitab 19 para Factor Popsiize de 2000, 3000, 4000 y 6000</i> .....	243
<b>Anexo 54.</b> <i>Graficas de Mejor Solución según Tamaño de Torneo, Popsiize 2000</i> .....	245
<b>Anexo 55.</b> <i>Graficas de Mejor Solución según Tamaño de Torneo, Popsiize 2500</i> .....	247
<b>Anexo 56.</b> <i>Gráficas Elitismo vs Pasar Hijos a la Siguiete Generación por Ruta</i> .....	249
<b>Anexo 57.</b> <i>Gráficas de 30 Ejecuciones por cada Valor Elitismo según Ruta</i> .	251
<b>Anexo 58.</b> <i>Análisis del Parámetro Número de Ejecuciones</i> .....	253
<b>Anexo 59.</b> <i>Cálculo de Consumo de Combustible para Ruta G-01</i> .....	254
<b>Anexo 60.</b> <i>Cálculo de Consumo de Combustible para Ruta G-02</i> .....	255

<b>Anexo 61.</b> <i>Cálculo de Consumo de Combustible para Ruta G-03</i> .....	256
<b>Anexo 62.</b> <i>Cálculo de Consumo de Combustible para Ruta G-04</i> .....	257
<b>Anexo 63.</b> <i>Cálculo de Consumo de Combustible para Ruta G-05</i> .....	258
<b>Anexo 64.</b> <i>Cálculo de Consumo de Combustible para Ruta G-06</i> .....	259
<b>Anexo 65.</b> <i>Efecto del Elitismo en la Población Intermedia</i> .....	260
<b>Anexo 66.</b> <i>Entrevista Exploratoria</i> .....	262

## INTRODUCCIÓN

El recojo y disposición final de residuos sólidos, es administrado por cada Municipalidad distrital. Esta actividad viene presentando nuevas variables a tomar en cuenta para la realización de dicha función. Estas variables comprenden entre ellas el uso de sistemas de recojo y de tecnología para realizar dicha función de manera eficiente, la cual podemos medir en función del uso de los recursos utilizados tales como el sistema implementado de contenedores soterrados para la recolección de los residuos sólidos domiciliarios. El recorrido para el recojo de los residuos sólidos de tales contenedores involucra factores de distancias, costos y tiempo necesarios para la recolección y disposición final de dichos residuos, para lo cual la Municipalidad de Bellavista ubicada dentro de la Provincia Constitucional del Callao ha sectorizado el distrito y definido rutas para el recojo de los residuos colocados en los contenedores soterrados.

La presente investigación se centra en la búsqueda de nuevas rutas, las cuales permitan realizar un uso más eficiente de los recursos durante la recolección y transporte de residuos sólidos almacenados en los contenedores soterrados. Dicha búsqueda presenta cierta complejidad, debido a una elevada cantidad de rutas posibles por lo cual resulta prácticamente imposible evaluar cada una de ellas en un tiempo razonable, por ello se usó una herramienta útil para explorar de manera inteligente el espacio de soluciones factibles, una herramienta de la Investigación de Operaciones: Algoritmos Genéticos. Estos Algoritmos resuelven problemas simulando el comportamiento evolutivo de las especies, para en nuestro caso: encontrar una ruta en la cual el uso de los

recursos durante la recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito de Bellavista-Callao sea menor a la manejada por el municipio, en el periodo de junio del 2021.

La presente tesis está dividida en los siguientes capítulos:

Capítulo 1, el cual trata acerca de la descripción de la realidad problemática para entender la situación que se está abordando y del cual se derivan los objetivos de la investigación, así como también su delimitación, justificación y las hipótesis planteadas.

Capítulo 2, se muestran antecedentes de investigaciones previas tanto a nivel nacional como internacional, las cuales abordan realidades problemáticas similares a la presentada en la presente investigación, con la finalidad de conocer cómo otros autores han abordado dicha realidad problemática y qué enfoque utilizaron para resolverla. También se presentan los conceptos relacionados con la investigación y con el algoritmo, así como la herramienta informática y el lenguaje de programación utilizados.

Capítulo 3, se explica la metodología usada para el desarrollo de la investigación, comprende el diseño y tipo de investigación, así como las variables de estudio y análisis, la población a estudiar, la muestra e instrumentos utilizados para la recolección y validación de la información para la construcción del grafo.

Capítulo 4, se presenta, analiza e interpreta los resultados obtenidos y se utiliza una gráfica resumen, validándose las hipótesis planteadas.

Capítulo 5, en base a los resultados encontrados en el capítulo anterior, se detallan las conclusiones relacionadas a los objetivos definidos en el capítulo 1, para luego proceder a brindar recomendaciones para futuras investigaciones. Por último, se presentan anexos, referencias bibliográficas de la investigación.

## **CAPÍTULO I.**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Descripción de la Realidad Problemática**

Como indica el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2019): Las Municipalidades, como corporación estatal, tienen entre sus funciones la de administrar la ciudad, lo cual implica autonomía para, entre otros aspectos, elaborar políticas que sean usadas para el recojo y transporte de los residuos sólidos generados en su respectivo distrito. Esto está regulado por La Ley Orgánica de Municipalidades: Ley N.º 27972.

Para esto, la Subgerencia de Limpieza Pública y Maestranza, órgano funcional dentro de la Municipalidad de Bellavista, ubicada en la Provincia Constitucional del Callao, es la encargada de diseñar el Plan Técnico Operativo para la recolección de residuos sólidos municipales. En esta entidad se diseñan horarios, sectores, rutas, frecuencia de recorridos, tamaño de flota de vehículos recolectores entre otros, acorde con la normativa vigente establecida por el Ministerio del Ambiente (El Peruano, 2014).

Según el aspecto técnico-operativo, la Municipalidad Distrital de Bellavista (2016) en el Plan de Gestión y Manejo de Residuos Sólidos del distrito de Bellavista 2016-2021 divide su Sistema de Limpieza Pública en 4 tipos:

- i) **Almacenamiento Intradomiciliario:** Se usan recipientes y bolsas de plástico, las cuales son dejadas frente a los domicilios.
- ii) **Almacenamiento Público:** Contando con 115 contenedores soterrados de carga vertical, 02 contenedores soterrados dobles con sistema hidráulico, ubicados en vías públicas y alrededor de 50 papeleras basculantes de metal.
- iii) **Servicio de Barrido Manual de calles, avenidas, jirones, parques:** barrido manual (diario) y barrido mecánico (mensual)
- iv) **Servicios Especiales:** de manera periódica, por la realización de algún evento como un concierto por aniversario del distrito, recojo de desmonte, entre otros.

Para el sistema de almacenamiento público, alrededor del año 2012, la Municipalidad Distrital de Bellavista inició el proceso de adquisición e instalación de maquinaria, suministro de carga, compactación y recolección de residuos sólidos, con el fin de mejorar el servicio de recolección de los residuos sólidos; para ello, adquirió 22 contenedores soterrados de carga vertical. Esta iniciativa no logró satisfacer la demanda del distrito, debido a que la reducida cantidad de contenedores soterrados no permitió atender al total de las familias del distrito respecto a disponer de uno de estos contenedores soterrados en las cercanías de su domicilio, y, por tanto, dejaban sus residuos domésticos en bolsas plásticas ubicándolas en la vía pública frente a sus domicilios.

Debido a ello, en el año 2013, se inició el estudio de un proyecto el cual planteaba la ampliación del servicio de “Almacenamiento público” por medio de la instalación de 100 contenedores soterrados adicionales para almacenar los residuos sólidos de la población del distrito de Bellavista – Callao y la adquisición de 4 camiones compactadores, el cual según el Banco de Inversiones del



Ministerio de Economía y Finanzas del Perú (MEF, 2021) fue declarado viable, con código único de inversiones 2192345, en febrero del 2014. Para tal fin, se distribuyó los contenedores soterrados de carga vertical en las cuatro zonas en la que el distrito está subdividido: Cercado, Ciudad del Pescador, Virú y Urbanizaciones, con el fin de beneficiar aproximadamente al 80% de los habitantes del distrito de Bellavista (La República, 2013).

Según la publicación: “Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales, 2020”, del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2020) la cantidad de residuos sólidos domiciliarios generados por día en el distrito de Bellavista pasó de 37.4 toneladas/día el año 2015 a 38.9 toneladas/día el año 2019. Basándose en estos datos se estima un incremento en la cantidad diaria de toneladas generada por la población para los próximos años.

A pesar de los esfuerzos por parte del municipio, según el MINAM (2018), que junto con el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (EOFA) realizó un estudio por el cual, de una muestra de 250 distritos que pertenecen a las principales provincias a nivel nacional, identificó al distrito de Bellavista de la Provincia Constitucional del Callao como uno de los 92 distritos que necesita tomar medidas para mejorar su servicio de limpieza pública. Dicha identificación se dio en base al nivel de cobertura del servicio, la cantidad de puntos de acumulación temporal en vía pública y volumen de residuos del distrito.

Según la infografía de Izquierdo (2020), a nivel de Lima Metropolitana que cuenta con 50 distritos, el 2019 ya se situaba a Bellavista dentro de los 30 distritos con mayor cantidad de puntos de acumulación temporal de residuos.

El municipio cuenta actualmente con un Programa de Ecoeficiencia Institucional cuyo objetivo es el uso eficiente de los recursos públicos para generar ahorro en aspectos como consumo de papel, agua, combustible, energía eléctrica, y disminuir el impacto negativo en el medio ambiente.

## 1.2. Planteamiento del Problema

El crecimiento acelerado durante los últimos años de la población del distrito de Bellavista, así como también el ritmo de vida acelerado donde la población joven consume mayores cantidades de productos manufacturados ha traído consigo el incremento de los residuos sólidos generados en el distrito, así como también un inadecuado manejo de estos. Con el incremento de la cantidad producida de residuos sólidos y el sistema de almacenamiento público, se generan algunos problemas tales como:

- a) Identificar puntos críticos para ubicar contenedores soterrados.
- b) Mantenimiento de los contenedores soterrados.
- c) Determinación de rutas de los camiones recolectores.
- d) Mantenimiento de los camiones recolectores.

Betanzo-Quezada, Torres-Gurrola, Romero-Navarrete y Obregón-Biosca (2016) afirman que la etapa de recolección domiciliaria diaria de residuos sólidos puede llegar a representar entre el 70% y el 85% de los costos incurridos en la gestión de residuos sólidos. Con base en ello se puede afirmar la importancia de este servicio y que si no se encuentra optimizado puede generar el uso excesivo de recursos. Por tal motivo, en la presente investigación se abordó el ítem “c” por su importancia en la atención a la población sobre la recolección de los residuos sólidos y sobre los costos que esta actividad representa.

Del total de 122 contenedores soterrados de carga vertical que se tenía inicialmente, en Junio del 2021, quedaron disponibles y útiles 115. La disminución de la cantidad inicial se debió a la falta de planes de mantenimiento que conserven los contenedores soterrados en buenas condiciones. Además, actualmente se agregan a esta problemática las obras de la actividad

desarrollada por el proyecto de Línea 2 del Metro de Lima, debido a las cuales se han retirado dos contenedores ubicados en la zona de trabajo del proyecto, factor que ha producido una redefinición de rutas de recolección.

También, el problema actual de salud pública durante los años 2020 y 2021 ha contribuido a la modificación de las rutas, inicialmente por las medidas del gobierno central las cuales fueron actualizadas periódicamente provocando la redefinición de horarios debido al toque de queda, redefinición de los turnos de trabajo y posteriormente, por el avance de las obras de la línea 2 del Metro de Lima se cambió el sentido de algunas calles y se clausuraron otras.

La unidad de maestranza es la encargada del mantenimiento de las unidades vehiculares de recolección de residuos en general, de la programación del personal de limpieza, la ubicación de los contenedores y la definición de rutas para la recolección entre otras funciones. Dicha unidad informó el uso de un software de apoyo para la definición de las rutas de recolección, que fue usado por consultores externos, del cual se desconoce los criterios que usa para definir las rutas.

Sin embargo, en la práctica se detectó casos esporádicos en los que el personal no puede ejecutar la ruta definida por diferentes razones, tales como la colocación de maleza o desmonte por los pobladores dentro del contenedor, que es comunicada por inspectores que ordenan al chofer del vehículo recolector retirar de inmediato dichos residuos prohibidos, lo cual hace que la unidad se desvíe de la ruta establecida. En la presente investigación, no se tratan estos casos particulares y esporádicos.

Por último, una dificultad que presenta el distrito para la recolección es la presencia de rejas ubicadas en ciertas calles, lo cual impide el ingreso de los camiones e inhabilita posibles caminos.

### **1.3. Formulación del Problema**

#### **1.3.1. Problema General**

¿Cómo determinar rutas aplicando un Algoritmo Genético Elitista para reducir los costos de recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao?

#### **1.3.2. Problemas Específicos**

¿Cómo determinar rutas que reduzcan el recorrido para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao?

¿Cómo disminuir el consumo de combustible necesario para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao?

¿Cómo disminuir los costos por el consumo de combustible utilizado para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao ?

### **1.4. Objetivos de la Investigación**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Determinar rutas aplicando un Algoritmo Genético Elitista para reducir los costos de recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

Determinar rutas que reduzcan el recorrido para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao.

Disminuir el consumo de combustible necesario para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao

Disminuir los costos por el consumo de combustible utilizado para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao.

## **1.5. Hipótesis de la Investigación**

### **1.5.1. Hipótesis General**

Mediante la aplicación de un Algoritmo Genético Elitista será posible determinar rutas que reduzcan los costos de recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao

### **1.5.2. Hipótesis Específicas**

Mediante la aplicación de un Algoritmo Genético Elitista será posible determinar rutas que reduzcan el recorrido para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao.

Mediante las nuevas rutas determinadas será posible disminuir el consumo de combustible necesario para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao.

Mediante las nuevas rutas determinadas será posible disminuir los costos por el consumo de combustible para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao.

## **1.6. Justificación**

El manejo de residuos sólidos, así como su control y disposición final para evitar proliferación de enfermedades y disposición final, es un tema de importancia para los municipios del Perú, tomando en cuenta las dificultades y excesivos costos que puede conllevar un plan de manejo poco eficiente de los mismos por parte de las Municipalidades, además de costos en licencia de softwares especializados. Los problemas de recolección y transporte surgen y se modifican de acuerdo con las necesidades de la población, lo que motiva el desarrollo de nuevas tecnologías y técnicas para resolver tales problemas. El presente trabajo, encuentra su justificación en los siguientes aspectos: Justificación Teórica y Práctica.

### **1.6.1. Justificación Teórica**

La presente tesis implementa conocimientos con respecto al uso de algoritmos genéticos como herramienta para la planificación de rutas de recolección y transporte de residuos sólidos domésticos. Se busca mostrar la

utilidad de dicha herramienta analítica en la solución de este tipo de problemas, muy importantes en la gestión municipal, buscando la reducción de los costos involucrados.

### **1.6.2. Justificación Práctica**

Son beneficiarios de los resultados de esta investigación los pobladores del distrito de Bellavista, de la Provincia Constitucional del Callao y el Municipio de Bellavista como organización. Los pobladores se beneficiarán con el incremento de la eficiencia en la recolección de residuos sólidos, reflejado en el menor tiempo de permanencia de los residuos sólidos en las calles del distrito y el Municipio de Bellavista se beneficiará en términos de costos al reducir gastos en combustible y costos de consultoría externa para poder utilizar esos fondos en beneficio de la comunidad.

Con respecto a la viabilidad de implantación de los resultados de esta investigación, el municipio no requerirá de inversión tecnológica debido a que la herramienta analítica usada en este estudio se desarrolló en un entorno de programación libre.

### **1.7. Alcance**

- Los datos recolectados acerca de la cantidad y ubicación de los contenedores soterrados, así como el sentido de las calles y avenidas corresponden al mes de junio del año 2021
- El distrito a junio de 2021, presento 115 contenedores soterrados de carga vertical.

- Los 115 contenedores distribuidos en seis rutas distintas, las cuales a partir de ahora denominaremos sector, donde cada sector tiene asignado una cantidad fija de contenedores, con su respectivo vehículo recolector y turno respectivo.
- Se tiene cinco sectores para cubrir la totalidad de los 115 contenedores soterrados y un sector de repaso donde se visitan los contenedores con mayor acumulación de residuos sólidos.
- Se explora la aplicación de los Algoritmos Genéticos para la determinación de rutas eficientes en términos de distancia recorrida para visitar los contenedores soterrados correspondientes a cada sector.
- El vehículo recolector inicia y termina su recorrido en el taller de Maestranza, teniendo como última ubicación la visita a la Planta modelo de Reciclaje del Callao, ubicada a la altura del km 19 de la carretera a Ventanilla.
- Se consideró el sentido de las calles y avenidas principales, así como también las obras de la Línea 2 del Metro de Lima que generaron cierre y redefinición temporal del sentido del tránsito en algunas avenidas.
- Para el diseño de las rutas se consideró la ubicación de rejas, tranqueras así como su accesibilidad para que el vehículo recolector pueda transitar por la calle donde se encuentran ubicadas.
- La unidad de maestranza tiene identificados los contenedores soterrados de carga vertical que deben ser visitados por cada camión recolector en su turno respectivo y por única vez, y según lo informado, en circunstancias normales la capacidad del camión recolector puede satisfacer la demanda de dichos contenedores. Se plantea redefinir las



calles y avenidas por las cuales deberá pasar cada vehículo recolector para completar su visita a los contenedores soterrados asignados.

- Las rutas diseñadas, son las establecidas en condiciones normales, en las cuales no se debe modificar la ruta por camión recolector por casos aislados que son informados por el personal de seguridad y/o vigilancia.

### **1.8. Limitaciones del Estudio**

- La ausencia de costos exactos, por ser una información de la cual no dispone el área encargada. Dicha información tendría que solicitarse a otras instancias, en la cuales se presentan mayores barreras al acceso a la información.
- La ubicación de los 115 contenedores soterrados y la asignación de dichos contenedores a un sector, fue determinada en estudios previos por la Municipalidad Distrital de Bellavista evaluando la densidad poblacional, por tanto, no se estudiará la reubicación de los contenedores pues esto conllevaría a nuevos costos, ni se analizará la redefinición de sectores con una nueva asignación de contenedores.
- Al evaluarse calles, cuyos recorridos están asociados a distancias, no se contempla el uso de la variable tiempo como indicador de mejoría.

## **CAPÍTULO 2.**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del Problema**

Se procedió a revisar bibliografía que enfoca y resuelve el problema de ruteo de vehículos en general, donde se muestra la aplicación de distintos métodos de solución. A continuación, se procede a presentarlos según su ámbito de publicación.

##### **2.1.1. Antecedentes Nacionales.**

**1. Autor:** Rivera, Frank.

**Año:** 2019

**Título:** “Propuesta de rutas optimizadas para el recojo de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de Jauja en el año 2018”,

**Publicación:** Universidad Continental de Huancayo, Huancayo, Perú.

**Tipo de Publicación:** Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial.

**Resumen:** El objetivo de la investigación fue proponer un diseño de rutas óptimo con el cual se realizaría el recojo de los residuos sólidos domiciliarios en el distrito de Jauja de tal manera que la distancia asociada a esta nueva ruta sea menor a la asociada a la ruta vigente; para modelar la situación de recojo se usó el problema del agente viajero. El tipo de investigación fue aplicada, al buscar una generación de rutas para modificar el sistema de ruteo actual buscando reducir distancias de recorrido, y el nivel fue explicativo porque se buscó detallar y sustentar cómo el nuevo sistema de ruteo permitió reducir los costos de recolección y transporte de los residuos sólidos domiciliarios. La población consistió en todas las calles del distrito de Jauja, y la muestra consistió en la totalidad de la población, se tomó en cuenta 293 nodos los cuales representaban la intersección de las calles de tal manera que la nueva ruta pueda recorrer todas las calles con una distancia mínima. Para la recolección de la información se procedió a solicitarla a la Subgerencia Ambiental y Desarrollo Sostenible, a su vez, se recorrió las calles del distrito para validar la incidencia e identificar zonas de mayor aglomeración de residuos, otras herramientas utilizadas fueron: la guía de observación, guía de análisis documentario, formato de horarios para conocer el horario de inicio y termino de la recolección de residuos por parte de los vehículos recolectores. Se utilizó el software Lingo, programa orientado a la resolución de ciertos problemas de la Investigación de Operaciones, para la resolución del modelo propuesto y para calcular las distancias entre cada intersección de las calles se usó el programa Google Earth.

### **Conclusiones:**

Se describió el sistema actual de recolección de residuos sólidos del distrito de Jauja, donde se calcularon los costos asociados a la recolección de los residuos en cada sector, con el objetivo de minimizar la distancia recorrida mediante el problema del agente viajero, tomando en cuenta el sentido de las calles, logrando definir seis nuevas rutas con un ahorro de S/. 32,718.13 soles y con una reducción de tiempo de recolección de 48.8%.

**2. Autores:** León, Y. y Quispe, A.

**Año:** 2019

**Título:** “Mejoramiento del sistema de recojo de residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo - Cusco, 2018”

**Publicación:** Universidad Andina del Cusco, Perú, Cusco, Perú.

**Tipo de Publicación:** Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

**Resumen:** La investigación tuvo como objetivo mejorar el sistema de recojo de residuos sólidos por medio de herramientas analíticas, en este caso Programación Lineal. El tipo de investigación fue aplicada por aportar una solución específica al problema de ruteo. El diseño de investigación fue no experimental-transversal, con un enfoque cuantitativo, pues se usó la recolección de datos cuantitativos para probar la hipótesis en base a análisis estadístico. La población estuvo conformada por las 9 532 familias del distrito y para determinar el tamaño de muestra se usó el método probabilístico con un error muestral de 0.05 y un nivel de confianza del 95% quedando un total de 369 familias como el tamaño de la muestra. Se usaron técnicas como la encuesta, revisión documental y guías de observación con los instrumentos para la recolección, siendo los siguientes: cuestionario, fichas de recojo de datos, guía documental, GPS Garmin 64s Map, software Grafos, software Basemap, Google Earth y Google Maps. La recolección de los datos del GPS se extrajo mediante el software Base Camp y utilizando el software GRAFOS se determinó el modelo y las rutas optimizadas. Los nodos representaron las intersecciones entre las calles y las aristas las distancias entre dichos nodos, se tomó en cuenta el sentido de las calles, el consumo y costo de combustible y los kilómetros recorridos para completar la ruta.

**Conclusiones:**

- Con la aplicación de la Programación Lineal se logró mejorar las rutas para la recolección de residuos sólidos, reduciendo el recorrido mensual en 268.288 km, aproximadamente 73 galones de combustible y un ahorro de S/. 914
- Las rutas definidas por el municipio necesitaban un mayor uso de recursos.
- Se logró definir una metodología basada en Programación Lineal para definir rutas y mejorar así el sistema de recolección y mejorar el rendimiento, disminuyendo las distancias recorridas y el uso de combustible.

**3. Autor:** Maguiña Agurto, Lucero Lizeth.

**Año:** 2016

**Título:** “Implementación de VRP - Solver aplicando la heurística de Clarke Wright para el ruteo del transporte terrestre en el área de distribución caso en estudio: industrias alimentarias”

**Publicación:** Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

**Tipo de Publicación:** Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas.

**Resumen:** En una empresa distribuidora de productos alimenticios, se realizó el ruteo de vehículos de forma manual basado en la experiencia del conductor, lo cual produjo que no se tome en cuenta si la ruta determinada pudiera generar excesos en costos o distancias mayores a otras rutas que se podrían generar mediante métodos más eficientes a la experiencia del conductor. Por lo mencionado, se tuvo como objetivo desarrollar un aplicativo basado en la heurística de Clarke Wright: VRP-Solver (versión académica) el cual usó la

distancia euclidiana que ayudó en la determinación de rutas y la cantidad necesaria de vehículos para poder realizar las entregas en las rutas determinadas. El tipo de investigación corresponde a un diseño no experimental-transversal. Se realizó el mapeo respectivo usando la herramienta Google Maps, donde se ubicó 46 clientes (en distintos distritos) y al centro el almacén o punto de partida, estos clientes se dividieron en clústeres según la cercanía para luego aplicar la heurística. Se utilizaron dos heurísticas para comparar sus resultados: la heurística del Ahorro con el VRP Solver obteniendo 13 rutas y una distancia recorrida total de 370 km, la heurística del Vecino más Cercano con el VRP Spreadsheet Solver con una distancia recorrida de 551.55 km y 6 rutas, siendo la heurística del Ahorro la que ofreció los mejores resultados con un ahorro de 44 km comparándola con la distancia del recorrido original.

#### **Conclusiones:**

Las heurísticas usadas pueden aplicarse a distintos problemas de ruteo. Se utilizó la heurística del Ahorro en el aplicativo VRP Solver, cuya solución fue mejorada por el algoritmo k-Opt, obteniéndose un ahorro de 44 km, lo que corresponde a una disminución del 10% con respecto a la distancia recorrida por la ruta original.

**4. Autor:** Hermitaño, M.

**Año:** 2019

**Título:** “Optimización de rutas para la recolección de residuos sólidos con uso de contenedores aplicando el algoritmo de colonia de hormigas en la ciudad de Huaraz”.

**Publicación:** Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú.

**Tipo de Publicación:** Tesis para optar el Título Profesional de Licenciado en Matemática.

**Resumen:** La investigación tuvo como objetivo diseñar rutas para la recolección de residuos sólidos depositados en los contenedores ubicados en la ciudad de Huaraz utilizando la metaheurística de Colonia de Hormigas programada en Xpress IVE 6 bit, versión estudiante. El tipo de investigación fue exploratoria y experimental. En base a un piloto en el centro de la ciudad de Huaraz se recopiló información del Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos y también se realizó una entrevista con el responsable de la Oficina de Medio Ambiente de la municipalidad distrital. Así se determinó la situación del distrito, la ubicación de los contenedores y sus características, contando con cinco vehículos con capacidad de 13m<sup>3</sup>. Al aplicar la metaheurística se obtuvo una ruta eficiente con una longitud asociada de 5952.7 metros para este plan piloto realizado en el centro de la ciudad de Huaraz, mostrando que la metodología funciona apropiadamente y que se podrá replicar a nivel de toda la ciudad.

**Conclusiones:**

La aplicación de la metaheurística de Colonia de Hormigas, implementada a través del lenguaje de programación Model IVE 2019, permitió definir una ruta eficiente en términos de distancia para la recolección de residuos sólidos de los cuatro contenedores ubicados en el centro de la ciudad de Huaraz, donde se calculó los tiempos y costos durante la recolección, siendo la distancia recorrida con la nueva ruta de 5952.7 metros.

Como una recomendación se menciona la mejor calidad de las soluciones si se tuvieran equipos tecnológicos para obtener una ubicación más exacta de los contenedores.

**5. Autor:** Antón Bernal, J.

**Año:** 2018

**Título:** “Desarrollo de un planificador de rutas para recojo de desechos sólidos en el distrito de Chiclayo utilizando Algoritmo de Dijkstra”

**Publicación:** Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú

**Tipo de Publicación:** Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas.

**Resumen:** Se tuvo como objetivo determinar rutas para el recojo de residuos sólidos en Chiclayo dentro de un ambiente simulado donde el usuario define los puntos de recolección para lo cual se recopiló data en coordenadas para luego proceder con la aplicación del algoritmo de Dijkstra implementado en lenguaje de programación PHP. En este estudio no se tenían contenedores sino ubicaciones denominadas focos infecciosos, los cuales eran informados por los vecinos, siendo las intersecciones de calles los nodos. La investigación se basó en una metodología cuantitativa, y diseño de tipo cuasi – experimental y transversal. Para el autor la población consistió en analizar diez algoritmos de búsqueda que trabajan con grafos dirigidos, por tal motivo la muestra consistió en la utilización del algoritmo de Dijkstra, de igual forma este algoritmo se consideró como la variable independiente y la planificación de rutas como la dependiente. La técnica de recolección de información consistió en la observación científica y como instrumento se utilizó la guía de observación. No se tomó en cuenta la congestión vehicular, semáforos, estado de las calles, entre otros. Se implementó una interfaz gráfica, en la cual se observaron las rutas encontradas. Al ser simulado según los focos infecciosos definidos por los usuarios, no se comparó con alguna ruta actual, pues no se tenía una vigente, dicha ruta fue definida con base en los parámetros ingresados por cada usuario, por tanto, cambian continuamente, y se adaptan a los nuevos requerimientos de cambio conforme el tiempo.



**Conclusiones:**

Se construyó la matriz de adyacencia asociada al grafo ponderado, considerando la intersección de calles y sus coordenadas mediante Google Maps, para posteriormente aplicar el algoritmo de Dijkstra implementado en PHP y así resolver el problema de definir rutas para el recojo de residuos sólidos aplicado para 20 puntos infecciosos. Se consideró clave la creación de una interfaz gráfica para visualizar el mapa del distrito obtenido de GoogleMaps.

**2.1.2. Antecedentes Internacionales.**

1. **Autor:** Cabrera, A.

**Año:** 2018

**Título:** “Método de solución de ruta entre ciudades para reparto de muestras”

**Publicación:** Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México.

**Tipo de Publicación:** Tesis para obtener el grado de Magister

**Resumen:** Tuvo como objetivo diseñar una ruta entre los nodos de reparto por medio de una herramienta cuantitativa de tal manera que la distancia asociada sea la menor posible, dicho objetivo encontró sustento en que los costos de distribución pueden llegar a representar hasta el 20% del costo de fabricación. Se procedió a particionar el área de influencia para luego determinar una ruta que recorra los nodos ubicados por cada partición, dicha ruta fue determinada por la metaheurística de Colonia de Hormigas bajo el modelo del Problema del Agente Viajero Múltiple (múltiples vehículos que cumplen recorridos sin repetir nodos a excepción del nodo inicial). Para calcular las distancias entre los nodos se tomó en cuenta la infraestructura de las vías tales como el sentido de calles y avenidas,

por lo cual, se tomó la recopilación de distancias tomadas de Google API, por medio de latitudes y longitudes, para luego programar en lenguaje Python 3.6.3 el procesamiento de la información, donde cada ruta obtenida fue mejorada con el algoritmo intercambio 2-Opt. No se tomó en cuenta la capacidad del vehículo porque cada ciudad provee de muestras que son entregadas en otra ubicación. Como resultado, se consideró cinco vehículos para las 22 ciudades, dentro de las cuales se tiene 150 nodos a visitar.

### **Conclusiones:**

La herramienta usada no representa costos significativos para la mayoría de empresas, siendo que el algoritmo de Colonia de Hormigas no garantiza la optimalidad de los resultados obtenidos, pero al ser los problemas de ruteo difíciles de tratar, la metodología propuesta permite encontrar soluciones aceptables en tiempos prudentes. Dentro de la metodología primero se particionó el total de 150 nodos a visitar distribuidos a lo largo de 22 ciudades para luego asignarlos a una ruta, logrando un ahorro aproximado de 313.362 km, representando una mejora del 2.1%, donde la distancia recorrida original era de 14604.401 km. Presentando un tiempo de 7:30 minutos en determinar una ruta.

**2. Autores:** Betanzo, E., Torres, M., Romero, J., Obregón, S.

**Año:** 2016

**Título:** “Evaluación de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos con apoyo de dispositivos de rastreo satelital: Análisis e Implicaciones”

**Publicación:** Revista Internacional Contaminación Ambiental. 32 (3) Pág. 323-337 / Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México

**Tipo de Publicación:** Artículo de Revista Científica

**Resumen.** Se tuvo como objetivo analizar el sistema de recolección de residuos sólidos domiciliarios en el municipio de Santiago de Querétaro, México, por medio de información obtenida por dispositivos de geoposicionamiento para determinar rutas eficientes de recolección de residuos sólidos urbanos. Se afirmó que los costos de recolección pueden llegar a representar entre el 70% al 85% con respecto a los costos totales de la gestión de los residuos. En la investigación se emplearon métodos propuestos por la Secretaría de Desarrollo Social de México (SEDOSOL) para poder medir la eficiencia de las rutas que se manejaban en el momento de realizar la investigación, dicha metodología permitió monitorear 71 rutas en operación con 81 camiones compactadores, 6 tracto camiones y 4 camiones tipo chasis en el año 2014. La justificación del trabajo radicó en que, ante el incremento de residuos sólidos por tener un aumento en la población de Querétaro y cambio en el estilo de vida, se debería tener un plan que permitiera una óptima recolección y transporte de dichos residuos, dando como ejemplo que el mayor desperdicio de combustible se presentaba mientras el camión recolector daba vueltas a la colonia a baja velocidad, asociado a una mayor emisión de gases contaminantes, congestión vehicular y costos adicionales en combustible. Se menciona un método tecnológico para contemplar demandas dinámicas y no solo aproximaciones históricas, el cual consiste en sensores ubicados dentro de los contenedores para alertar el nivel de llenado y en base a información geográfica junto con GPRS, permitan determinar rutas de recolección eficientes, para así reducir el consumo de combustible y por tanto reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

### **Conclusiones:**

- Por medio del uso de GPS se monitoreó las rutas de los camiones para la recolección y los sensores ubicados en los contenedores, a bajo costo, lo cual permitió medir el nivel de llenado de los contenedores para diseñar rutas eficientes basadas en demandas reales por turno. Estas dos herramientas permitieron el procesamiento de información a bajo costo.

- Durante la implementación se registraron los cambios desde junio a julio del 2014, periodo en el cual se estimó un sobrecosto de 22493.31 pesos mexicanos por día, equivalente a 1180.29 dólares diarios, por lo cual, se demostró la utilidad de estos dispositivos para la determinación de rutas.

**3. Autores:** Rodríguez, J., Velazco, K.

**Año:** 2017

**Título:** “Propuesta del ruteo para la recolección de residuos sólidos en el Municipio de La Mesa, Cundinamarca”

**Publicación:** Universidad Católica de Colombia, Colombia.

**Tipo de Publicación:** Anteproyecto de Grado

**Resumen.** El objetivo general de la investigación fue identificar el proceso actual de recolección de residuos sólidos para así proponer un método de ruteo eficiente, de esa forma reducir los gastos operativos durante la recolección, transporte y disposición final en el municipio de la Mesa, Cundinamarca. El tipo de estudio fue descriptivo, pues se analizaron las rutas ya existentes del municipio. Se tenía dos camiones de capacidades distintas y que realizaban su recorrido dos veces por semana cada vehículo, de tal manera que los vehículos en su segundo día de ruta empezaban con los residuos del día anterior para completar su carga e ir al relleno sanitario para su disposición final, se realizaba un recojo de residuos que eran dejados en la acera por la población; luego se analizó la producción per cápita de las zonas (comercial, residencial), y con base en la capacidad máxima del camión se calculó cuántos viajes serían necesarios para completar el recorrido, de esta manera, se determinaron los puntos críticos para luego definir qué zonas deberían ser tratadas con mayor prioridad.

**Conclusiones:**

- Se propuso cambiar el método de la acera por el de los contenedores y con la determinación de macro rutas se logró ocupar la capacidad máxima del camión recolector evitando regresos innecesarios para completar la ruta y evidenciándose un aumento de la velocidad para recorrer los nodos, con lo cual se hacía un mejor uso de los recursos disponibles eliminando tiempos muertos al evitar ir de extremo a extremo en la recolección.
- Se eliminaron los retornos en reversa para las rutas para así evitar usar el método de recolección de acera y en su lugar instalar contenedores que no afecten la comodidad del usuario

**4. Autores:** Márquez, F., Rodríguez, K., Garro B.

**Año:** 2019

**Título:** “Diseño de rutas de recolección utilizando el algoritmo de optimización por colonia de hormigas”

**Publicación:** Revista del Centro de Investigación de la Universidad La Salle, 13 (52) Pág. 19-66 / Universidad La Salle, Ciudad de México, México.

**Tipo de Publicación:** Artículo de Revista Científica

**Resumen:** Se tuvo como objetivo determinar la mejor ruta, para la recolección de residuos sólidos planteado como un problema de grafos, la ruta fue construida por medio de la metaheurística Colonia de Hormigas. Al incrementarse la densidad poblacional en la ciudad de México y el hecho de la preferencia de los ciudadanos porque sus residuos sean recolectados en la puerta de su casa ha generado rutas de recolección de estos residuos determinados en su mayoría de manera empírica. Se determinó una ruta lo más eficiente posible en términos de

distancias y tiempo de recolección en la colonia de Milpa Alta, en donde cada esquina de la colonia representaba un nodo, omitiendo curvas o esquinas con calles cerradas para reducir la cantidad de nodos del grafo de tal manera que se pasó de tener cerca de 500 a poco más de 100 nodos. Se aplicó la metaheurística cuya solución fue mejorada por la aplicación del intercambio 2Opt, que consiste en intercambiar arcos para evaluar si se logra mejorar la solución. El problema consistió en la determinación de los parámetros de la metaheurística, los cuales se obtienen mediante ensayo y error en la ejecución del modelo, en este caso fue necesario tener 100 hormigas, y 400 iteraciones. Con esto definido, se construyó la ruta concatenando arcos hasta llegar a completar la capacidad del vehículo recolector, tal que se iniciaba la salida de otro vehículo para seguir con el recorrido de los arcos faltantes, esto hasta completar la capacidad del segundo vehículo recolector y así sucesivamente hasta completar el barrido completo de la ciudad. No se pudo comparar la calidad de las soluciones con las rutas actuales de la colonia o distrito de Milpo debido a que el municipio no brindó la información necesaria para realizar la comparación.

### **Conclusiones:**

- La construcción del grafo presentó dificultades al no contar con una actualización geográfica del mapa, por lo cual, se tuvo que validar el sentido de las calles para ajustarlo al caso y luego realizar una limpieza del total de nodos tal que se evite tener una cantidad excesiva de ellos.
- Falta de detalle de distintos autores para explicar cómo resolvieron sus respectivos problemas de investigación, lo cual provocó una dificultad para implementar sus técnicas.
- La metodología planteada por su flexibilidad se puede usar para toda la ciudad de México, para lo cual se recomienda sectorizar la ciudad para su análisis y así reducir su complejidad.

- Un factor clave para la determinación de rutas eficientes es la correcta determinación de los parámetros con sus respectivos valores, pero esto conllevó a un tiempo adicional para probar las distintas configuraciones lo cual implica un tiempo de experimentación que no es sencillo determinar.

**5. Autor:** Grosso de la Vega, R.

**Año:** 2017

**Título:** “Optimización Sostenible y Gestión Eficiente de Flotas Urbanas”

**Publicación:** Universidad de Sevilla, Sevilla, España

**Tipo de Publicación:** Tesis Doctoral de Ingeniería Industrial

**Resumen.** En España, el transporte de mercancías se da en 3 vías: carretera (85%), marítima (12%), tren y vía aérea (3%), en esto se basa la importancia de tener rutas eficientes para el desarrollo logístico de las empresas que en el caso de España representa una facturación de 6000 millones de euros. Se analiza el ruteo de vehículos de forma general planteando variantes con ventanas de tiempo abiertas y cerradas, por las cuales debe pasar el vehículo según restricciones horarias entre otras, una vez el vehículo completa su capacidad sale otro desde el nodo inicial continuando con los nodos que no pudo visitar el anterior vehículo para completar el barrido de todos los nodos destinos, así hasta completar el total a visitar. Para tratar este problema se usó: un algoritmo genético, en el cual se almacenan las tres mejores soluciones de una población anterior a la nueva para así evitar caer en óptimos locales; el algoritmo de Clarke y Wright, el cual fue modificado y no se necesitó calibrar sus parámetros; Búsqueda Tabú, cuyos parámetros fueron tomados de los parámetros del Algoritmo Genético y 4 algoritmos adicionales propios de la Búsqueda Tabú reduciendo así el tiempo de calibración. Enfocándose en el problema de ruteo

para recojo de residuos sólidos, lo cual forma parte de la logística urbana del autor, ubicados en contenedores distribuidos a lo largo de una ciudad donde los nodos representan las ubicaciones de los contenedores y las calles los arcos respectivos del grafo, dichos contenedores presentan un sensor para medir el volumen del llenado en un determinado momento del tiempo, dicha información es enviada a la web para su descarga y así poder analizar y construir las rutas que permitan visitar ciertos contenedores que minimicen la distancia recorrida sin sobrepasar la capacidad del contenedor; según esta información se determina, al inicio del día, qué contenedores deben ser visitados. Para determinar qué calles se deben recorrer se usó algoritmos de optimización local 2-opt.

### **Conclusiones:**

- Siendo aún más diversas las conclusiones del autor al tratarse varios casos de logística urbana, se hace hincapié en las conclusiones referentes al tema de estudio de la presente investigación.
- La capacidad de integrar y procesar la cantidad de información que nos da la tecnología debe usarse de manera inteligente para solucionar distintos problemas de operaciones logísticas urbanas de manera dinámica y real, los cuales presentan restricciones para la gestión como ventanas de tiempo, sentido de calles, diseño de contenedores validados y patentados, entre otras.
- La mayor parte del tiempo y esfuerzo se utilizó en la determinación de los parámetros para el Algoritmo Genético, tomando en cuenta que el tiempo computacional, como indica el autor, puede llegar a ser cien veces mayor que el de la Búsqueda Tabú (a pesar de tener la misma configuración del problema), pero la ventaja del Algoritmo Genético es que puede usarse para mayores variantes del problema de ruteo de vehículos.



## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. Teoría de Grafos

“La Teoría de Grafos, en efecto, es una teoría que estudia de modo abstracto colecciones de objetos relacionados entre sí” (Alvarado, 2019, p.124).

Como mencionan Correa, Cogollo y Salazar (2011) muchos problemas de planificación de rutas de distribución pueden ser solucionados por medio de la Teoría de Grafos, debido a que se facilita su modelamiento por la semejanza conceptual de las estructuras, donde los nodos representan ubicaciones, ciudades, esquinas, entre otros, que deben visitarse, y las líneas que los unen corresponden a la infraestructura vial que permite conectar tales nodos.

### 2.2.2. Grafos

Para entender el concepto de grafo se usó la noción básica de Álvarez y Parra (2013), la cual indica que un grafo es un conjunto de elementos llamados nodos o vértices con líneas que unen dichos nodos. De manera formal:

Un grafo  $G$ , es un par de conjuntos  $(V, E)$ , denotado por  $G = (V, E)$ , donde  $V$  es un conjunto no vacío de elementos llamados vértices o nodos y  $E$  es un conjunto de pares no ordenados de elementos de  $V$ , llamados lados o aristas. (Brito, Marín y Ramírez, 2018, p.348)

De la representación  $G = (V, E)$ , los elementos de “ $V$ ” son representados por “ $v_i$ ”, donde  $i \in I$  (conjunto de índices) y los elementos de “ $E$ ” son representados por  $(v_i, v_j)$ , donde  $i, j \in I$  (conjunto de índices). Dependiendo de los autores también se suele usar la nomenclatura “ $A$ ”, para representar a los lados que unen los nodos del grafo, de tal manera que se puede representar  $G = (V, A)$ .

### 2.2.3. Representación de un Grafo

Según Meza y Ortega (2004), un grafo puede representarse de forma: gráfica y matricial entre otras.

- a) **Representación Gráfica.** De utilidad para estudiar las propiedades del grafo, es una figura formada por círculos o puntos denominados nodos o vértices y una línea que une dichos nodos.
- b) **Representación Matricial.** Representación que facilita los cálculos algebraicos de la información almacenada en matrices que identifica al grafo y sirve principalmente para las operaciones en el computador.

### 2.2.4. Tipos de Relaciones en un Grafo Dirigido

Se usó las definiciones propuestas por Álvarez y Parra (2013):

- **Arista:** Línea que une dos nodos y que no indica dirección.
- **Arco:** Línea que une dos nodos y que indica dirección.
- **Camino:** Es una ruta o secuencia de arcos para ir de un nodo a otro.
- **Circuito:** Camino que regresa al nodo inicial.
- **Camino Hamiltoniano:** Recorre una única vez por todos los nodos del grafo.
- **Circuito Hamiltoniano:** Camino que recorre todos los nodos del grafo una sola vez regresando al nodo inicial.
- **Bucle:** Es el arco que conecta el mismo nodo sin pasar por otros nodos.

### 2.2.5. Tipos de Grafos

Álvarez y Parra (2013) lo dividen según su orientación en:

- a) **Grafos no dirigidos.** Grafos en los cuales no se considera la dirección se denomina grafo propiamente. Se denota  $G = (V, A)$ , donde "V" es un conjunto de nodos y "A" un conjunto de aristas, entonces  $(a, b) = (b, a) \forall a, b \in V$ .
- b) **Grafo dirigidos.** Grafos en los cuales sí importa la dirección. Este tipo de grafo también es conocido como Dígrafo y se denota  $G = (V, A)$ , donde "V" conjunto de nodos y "A" conjunto de arcos, entonces  $(a, b) \neq (b, a) \forall a, b \in V$

En otra clasificación realizada por Álvarez y Parra (2013), se menciona los: grafos simples, multígrafos y pseudografos.

- c) **Grafo simple.** Grafo que no tiene bucles y no tiene más de un arco que conecta a dos nodos (Meza y Ortega, 2004).
- d) **Multígrafo.** Grafo que tiene un par de nodos los cuales son unidos por al menos dos arcos (Meza y Ortega, 2004).
- e) **Pseudografos.** Multígrafo en donde existe al menos un bucle (Meza y Ortega, 2004).

### 2.2.6. Grafo Ponderado

Melo (2011) nos indica que un grafo es ponderado cuando tiene sus vértices o arcos ponderados. Por su parte Cardona, Castrillón y Tinoco (2017)

nos indican que un grafo puede ser ponderado en sus aristas y por tanto también ponderado en sus vértices.

- Grafo Ponderado en sus Aristas, usamos la definición de Rodríguez y Lazo (2014), la cual define un Grafo Ponderado como la estructura  $G = (V, A, f)$ , tal que la función  $f: A \rightarrow \mathbb{R}^+$ , la cual a cada arista  $(v_i, v_j) \in A$  le asigna un valor numérico positivo, dicho valor se interpreta como el costo o peso de ir desde el vértice “ $v_i$ ” al vértice “ $v_j$ ”.
- Grafo Ponderado en sus Vértices, donde a cada vértice se le asigna un valor numérico positivo por medio de una función.

Para la presente investigación, al mencionar un Grafo Ponderado se entenderá aquel grafo que tenga tanto sus aristas como vértices ponderados.

Una diferencia con el término grafo etiquetado y grafo ponderado es la que menciona Melo (2011) quien define al primero como aquel al que se le asignan nombres a sus vértices o aristas, donde se deduce que dichos nombres no son necesariamente valores numéricos como en el caso de los grafos ponderados.

### **2.2.7. Problemas de Optimización.**

Gómez y Cervantes (2014) plantean que los problemas de optimización son aquellos en los que se tiene que minimizar o maximizar algo por medio de algoritmos. Dichos problemas pueden convertirse en problemas de decisión, los cuales presentan como solución un “sí” o un “no”.

Otra definición es dada por Oré (2010) la cual indica que Optimizar consiste en encontrar valores para las variables de decisión, las cuales están sujetas a restricciones, valores que al ser evaluados en una determinada función objetivo logran minimizar o maximizar el valor de la función según sea el caso.

De ambas definiciones podemos resumir que la optimización se trata de un proceso que, por medio de determinadas técnicas, realiza una búsqueda con el fin de encontrar valores de las variables de decisión los cuales logran encontrar la mejor solución existente al evaluarse en una función objetivo.

En general, se trata de desarrollar algoritmos los cuales puedan resolver problemas de optimización los que tienen un número finito de soluciones, pero ese número es tan excesivo que no se puede evaluar cada una de dichas soluciones (Pérez de la Cruz, 2011).

### 2.2.8. Algoritmo

Marcelo (2014) define a los algoritmos como un “Método que describe la solución de un problema computacional mediante una serie de pasos precisos, definidos y finitos” (p.20).

- **Preciso:** cada paso se realiza en un orden determinado.
- **Definido:** al repetirse el proceso se obtiene el mismo resultado.
- **Finito:** se realiza una cantidad medible de pasos.

Estos necesitan de valores de entrada para ser procesados por medio de pasos, acciones y cálculos a realizar, para proceder a devolver un resultado. Dentro de las características aconsejables de un algoritmo, encontramos las definidas por Marcelo (2014):

- **Validez,** hace referencia a un algoritmo sin errores.
- **Eficiencia,** si devuelve el resultado o solución en un tiempo aceptable.
- **Óptimo,** Cuando el algoritmo es el más eficiente posible y sin errores.

### 2.2.9. Algoritmos Polinomiales y Algoritmos Deterministas

Wayne (2018) define que:

- Un algoritmo es polinomial si se ejecuta o resuelve el problema en un tiempo polinomial.
- El tiempo polinomial hace referencia a que el algoritmo encuentra una solución en un número finito de pasos, los cuales pueden expresarse mediante una función polinómica la cual está en función de la cantidad de variables de entrada.

Y, como indican Gómez y Cervantes (2014), “(...) son deterministas aquellos algoritmos que cada vez que se ejecutan con la misma entrada obtienen la misma solución. Se dice que los algoritmos polinomiales son eficientes” (p.151).

### 2.2.10. Complejidad Algorítmica

Estudia de manera teórica la cantidad de recursos computacionales necesarios para resolver un determinado problema mediante la ejecución de un algoritmo (Pérez de la Cruz, 2011).

Los recursos principalmente evaluados como menciona Oré (2010) son:

- a) **El tiempo.** Número de pasos necesarios para que el algoritmo encuentre una solución al problema estudiado. Maldonado (2013) indica que dicho recurso es llamado Complejidad Temporal.
- b) **El espacio.** Cantidad de memoria usada para la resolución del problema por medio de la ejecución del algoritmo y es llamada Complejidad Espacial.

De estos dos recursos, Oré (2010) menciona que un algoritmo que requiera un elevado tiempo para resolver un problema no será de gran utilidad y si el algoritmo necesita una cantidad excesiva de memoria difícilmente podrá utilizarse en otros computadores.

De lo mencionado, identificamos tres palabras claves: resolver, problema y algoritmo. Podemos intuir la existencia de algoritmos que pueden resolver un problema determinado con un uso eficiente de recursos computacionales y la existencia de algoritmos que no hacen uso eficiente de estos recursos o que en el peor escenario no podrían resolver un problema por más que dispongan de recursos ilimitados. De aquí la importancia de estudiar problemas a ser tratados.

Maldonado (2013) al estudiar la naturaleza de los problemas los divide en:

- a) **Problemas indecidibles.** Si no existe un algoritmo que permita resolver el problema estudiado, incluso con tiempo u otros recursos ilimitados.
- b) **Problemas decidibles.** Considerados problemas tratables, porque existe o por lo menos puede existir un algoritmo que permita resolver el problema.

Los problemas de interés para la presente investigación son los Decidibles, los cuales se dividen en los problemas P y los problemas NP. Donde P hace referencia a que el problema es Polinomial (Maldonado, 2013).

### **2.2.11. Clasificación de Problemas Decidibles**

Usando la clasificación propuesta por Gómez y Cervantes (2014):

- a) **Problemas P.** Conjunto de problemas que pueden ser resueltos por un algoritmo polinomial, son llamados problemas tratables.
- b) **Problemas NP.** Son problemas de decisión para los cuales no conocemos un algoritmo que pueda resolverlos en un tiempo polinomial. Pero se comprueba si un elemento conocido es solución al problema de decisión en un tiempo polinomial.

Adicionalmente se da el concepto de Reducción polinómica: Una reducción consiste en transformar un problema en otro, por tal motivo al adicionarle el término *polinómica* haría referencia a transformar un problema en otro en un tiempo polinómico (Restrepo y Rojas, 2016).

Dentro de los NP, se tiene los:

- **NP-Completo.** Problemas que tienen la propiedad que cualquier problema NP puede reducirse a ellos en un tiempo polinomial. Y usando la definición para los problemas NP, de Pérez de la Cruz (2011), podemos inferir que los problemas NP-Completo al ser parte de los problemas NP, no presentan un algoritmo para resolver el problema de decisión, pero sí podemos verificar si un candidato es una solución del problema en un tiempo polinomial. Actualmente, todos los algoritmos conocidos para resolver problemas NP-completos utilizan tiempo exponencial con respecto al tamaño de entrada
- **NP-Hard.** Como mencionan Gómez y Cervantes (2014): “La NP-Completo es una propiedad de los problemas de decisión, mientras que la NP-Dificultad es una propiedad que no solo se asocia a problemas de decisión sino también a problemas de optimización” (p.156).



Los problemas NP-Hard no solo son problemas de decisión, también pueden abarcar problemas de optimización los cuales pueden reducirse o no a problemas de decisión, es decir los NP completos pueden reducirse a NP-Hard (Difícil), por tal razón son considerados al menos tan difíciles como los NP-Completos (Restrepo y Rojas, 2016).

Cuando se prueba que la versión de decisión de un problema de optimización pertenece a los NP-completos, entonces la versión de optimización pertenece a los NP-Hard, porque siempre se puede resolver el problema de decisión cuando se ha resuelto la versión de optimización, es decir, el problema de decisión se reduce al problema de optimización.

#### **2.2.12. El Problema del Agente Viajero.**

El problema del agente viajero, también conocido como Travel Salesman Problem (TSP) es un problema de optimización combinatoria NP-Completo. Este problema se enuncia como la búsqueda del camino más corto de un viajero pasando por “m” ciudades, comenzando en una ciudad determinada y finalizando en la misma ciudad, luego de haber visitado todas ellas solo una vez (Quiroga, Cáceres, y Padilla, 2015).

Dicho camino o recorrido puede estar en función del tiempo o distancia, puede ser modelado por un grafo dirigido, tal que las ciudades son representadas por nodos y los caminos que llevan de una ciudad a otra son representadas por los arcos, a los cuales se les asocia un peso que puede representar una distancia, tiempo o costo (Villegas, Zapata y Gatica, 2017).

La versión de decisión del problema del agente viajero, en la que se decide si existe un recorrido que tiene un costo menor que  $k$ , es NP-completa.

Para dar una respuesta afirmativa basta con obtener un ejemplo de un recorrido cuyo costo sea menor a  $k$ . La versión de optimización de este mismo problema, que consiste en determinar cuál es el recorrido menos costoso, es un problema NP-difícil ya que, para hallar la solución, es necesario demostrar que ningún recorrido es menos costoso que cierta cantidad. (Gómez y Cervantes, 2014, p.157)

Por ejemplo, tenemos 20 ciudades y nos piden visitarlas con la ciudad 1 como el punto de partida y a la cual debemos retornar, algunas rutas posibles se muestran en la Figura 1.

### Figura 1

*Ejemplo de 5 Rutas para El Agente Viajero con 20 Ciudades*

N.º Ruta	Detalle de Ruta	Distancia
1	→ 1-6-7-8-9-10-11-4-3-2-12-13-14-15-16-18-17-5-19-20 →	15415 m
2	→ 1-2-4-3-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-18-17-5-19-20 →	15300 m
3	→ 1-2-3-6-7-8-9-10-11-4-12-13-14-15-16-18-17-5-19-20 →	15144 m
4	→ 1-2-3-4-7-6-8-9-10-11-12-13-14-15-16-18-17-5-19-20 →	15847 m
5	→ 1-2-3-4-6-7-8-9-10-11-12-13-14-5-15-16-18-17-19-20 →	20452 m

En la Figura 1, de las 5 rutas determinadas el agente viajero se podría elegir la Ruta 3, por presentar una menor distancia en su recorrido. Pero aún se tendrían más casos por analizar y conforme aumente el número de ciudades se incrementa la Complejidad del Algoritmo que lo soluciona.

### 2.2.13. Formas de Resolución del Problema del Agente Viajero.

Como indican López, Mendoza y Cuartas (2008), entre las disciplinas que abordan la resolución del problema de agente viajero se encuentran la Investigación de Operaciones y las ciencias informáticas dentro de las cuales se encuentran la Algoritmia y la Teoría de grafos.

Como indica López (2009), el fenómeno llamado *explosión combinatoria* establece que conforme se incrementa el número de variables de decisión del problema, también se incrementa el número de soluciones factibles a buscar y el esfuerzo computacional necesario para la ejecución del algoritmo también crece de forma exponencial. Esto implica que no exista un algoritmo determinístico que brinde una solución exacta en un tiempo polinomial y para lograr encontrar soluciones que se aproximen al óptimo global se utilizan métodos eficientes los cuales nos permitan encontrar soluciones aproximadas (Espinosa, Sánchez y Orlando, 2016).

Una clasificación para los métodos de resolución del Problema del Agente Viajero está dada de la siguiente manera:

- a) **Métodos Exactos.** Algoritmos que brindan una solución óptima al problema planteado, pero son altamente costosos en términos de tiempo, cuando el número de variables se incrementa puede incluso demorar años en encontrar dicho valor óptimo (Pérez de la Cruz, 2011).
- b) **Método Heurístico.** Algoritmos que brindan una solución eficiente en términos de tiempo, pero no necesariamente óptima (Pérez de la Cruz, 2011). Resolviendo el problema de manera intuitiva para obtener soluciones consideradas razonables (Nilson, 2003, citado en López, 2009).

- c) **Métodos Metaheurísticos.** Término introducido por Glover alrededor de 1986, al definir algoritmos que combinaban las heurísticas con métodos más eficientes de búsqueda de soluciones los cuales evitan quedar atrapados en óptimos locales (Blum y Roli, 2003, como se citó en Vélez y Montoya, 2007). Usados para explorar eficientemente el espacio solución donde las heurísticas clásicas presentan problemas.

#### 2.2.14. Algoritmo de Dijkstra

Diseñado para encontrar el camino más corto al resto de nodos del grafo ponderado partiendo desde un nodo inicial, grafo en el cual los pesos representan una variable como distancia, tiempo, costo u otro valor no negativo el cual se desea minimizar y el valor del camino encontrado es la suma de los pesos de las aristas recorridas (Ruohonen, 2013).

Alonso (2008) señala que el algoritmo: “(...) es de tipo Greedy porque en cada iteración elige la mejor opción de las posibles con la esperanza de encontrar así la mejor solución global” (p.59).

Por otra parte, Restrepo y Sánchez (2004) han utilizado dicho algoritmo para la determinación de rutas más cortas, con sus respectivas distancias.

La limitante que presenta dicho algoritmo es que solo nos permite conocer el camino y distancia entre un par de nodos, y si se quiere conocer el camino entre otro par de nodos se tiene que volver a ejecutar dicho algoritmo, es decir, al tener un grafo con una cantidad elevada de nodos el proceso tendría que repetirse una cantidad elevada de veces.

### 2.2.15. Algoritmo de Floyd-Warshall

Si bien el algoritmo de Dijkstra puede determinar el camino para ir desde un nodo inicial fijo al resto de nodos del grafo dirigido, en un grafo para determinar un camino entre todo par de nodos, de un total de “n” nodos se tendría  $n \times (n-1)$  arcos para ir desde un nodo en particular al resto de nodos y como se tiene en total “n” nodos se tendría un total de  $n \times (n-1)$  caminos, es decir se tendría que aplicar “ $n \times (n-1)$ ” veces el algoritmo de Dijkstra. Para evitar dicha aplicación excesiva se presenta el algoritmo de Floyd-Warshall.

Arellano (2010) afirma que:

El algoritmo encuentra el camino entre todos los pares de vértices en una única ejecución. El algoritmo de Floyd-Warshall compara todos los posibles caminos a través del grafo entre cada par de vértices. El algoritmo es capaz de hacer esto en  $V^3$  comparaciones (...). Lo hace mejorando paulatinamente una estimación del camino más corto entre dos vértices, hasta que se sabe que la estimación es óptima. (pp. 30-31)

Para describir el algoritmo se denota a los vértices simplemente con la letra del subíndice: Desde el vértice “i” al “j” pasando por “k” vértices es definido de forma recursiva de la siguiente manera:  $P_{ij}^{(k)} = \min \{P_{ij}^{(k-1)}, P_{ik}^{(k-1)} + P_{kj}^{(k-1)}\}$ ,

Donde:

- $P_{ij}^{(k)}$  = peso de ir de “i” a “j” usando únicamente los nodos de “1” a “k”
- $P_{ij}^{(0)}$  = peso arista (i, j), pues no se necesitó pasar por otros nodos

Paredes (2003) afirma que “se deben tener n matrices de tamaño  $n \times n$  y cada elemento se halla en tiempo constante. Por tanto, la complejidad del algoritmo es  $O(n^3)$ ” (p.45).

Como menciona Arellano (2010), la formula anterior es el fundamento para el algoritmo de Floyd Warshall, el cual funciona haciendo variar los valores de la variable “k” hasta “n” para todos los pares de vértices (i, j), es decir:

Paso 1: Se halla el  $P_{ij}^{(1)}$ , haciendo variar todos los pares de vértices (i, j)

Paso 2: Luego el  $P_{ij}^{(2)}$ , haciendo variar todos los pares de vértices (i, j)

Paso 3: Así, hasta llegar a  $P_{ij}^{(k=n)}$  haciendo variar todos los pares de vértices (i, j)

Para así encontrar el camino más corto para de desde el vértice “i” al “j”.

Existen alternativas informáticas para la aplicación de dicho algoritmo, tal como el Software Grafos cuyo proyecto inicio el 2003, desarrollado como una herramienta informática para el aprendizaje y resolución de problemas de teoría de grafos, presentado por Alejandro Rodríguez Villalobos en el X Congreso de Ingeniería de Organización desarrollado en Valencia, España 2006 (Rodríguez, 2006). Dicho software presenta la limitante de solo poder trabajar con una cantidad máxima de 200 nodos, razón por la cual se optó por la implementación de dicho algoritmo en NetBeans con lenguaje de programación java.

#### **2.2.16. Números Pseudoaleatorios**

Pulido (2008) nos indica que, ante la dificultad de obtener números aleatorios, se usan generalmente de manera computacional algoritmos determinísticos que posean cierta base matemática para justificar su uso. Dichos algoritmos producen sucesiones de números que se asemejan a una sucesión de números aleatorios  $U(0,1)$  aunque realmente no lo sean.

Se define al periodo como el menor entero  $\rho > 0$  tal que para un “k” entero positivo se cumple:  $x_{\rho+k} = x_k$ , es decir, el periodo indica el menor valor entero para que un mismo número pseudoaleatorio se repita por primera vez.

Coss Bu (2003) afirma que independientemente del método elegido para generar números pseudoaleatorios, dichos números deben cumplir ciertas características para asegurar la confiabilidad de los resultados, tales como:

- Deben ser uniformemente distribuidos.
- Deben ser estadísticamente independientes.
- Deben ser reproducibles, con condiciones iguales da una misma serie.
- Deben tener un periodo tan largo como sea posible.
- Deben ser generados por un método rápido.
- Deben generarse sin ocupar mucha memoria en la computadora

### 2.2.17. Métodos Congruenciales Lineales

Pulido (2008) afirma que estos métodos introducidos por Lehmer en 1951 son los principales generadores de números pseudoaleatorios usados hoy en día, los cuales inician con un valor inicial o semilla “ $x_0$ ”  $> 0$ , a partir de la cual se obtiene sucesivos valores de forma recursiva con la siguiente fórmula:

$$x_n = (a * x_{n-1} + b) \text{ módulo } m, \quad \text{donde: } a, b \text{ y } m \text{ son enteros positivos}$$

a: multiplicador ( $a > 0$ );

b: constante aditiva ( $c > 0$ )

m: modulo ( $m > x_0$ ,  $m > a$  y  $m > c$ )

n: índice ( $n \geq 1$ )

Coss Bu (2003) afirma que esta relación de recurrencia hace que a " $x_{n+1}$ " le corresponda el residuo de dividir " $a * x_n + b$ " entre " $m$ " y según la estructura del operador definido " $x_{n+1}$ " puede tomar valores desde "0" a " $m-1$ ", es decir, un máximo de " $m$ " valores distintos pueden generarse. Por tal motivo, se debe escoger un valor muy alto para " $m$ " para poder conseguir una sucesión de números pseudoaleatorios de periodo largo.

Para cumplir la característica de tener un periodo lo más largo posible, el cual se denomina periodo completo y es igual al módulo, como afirma el corolario brindado por Pulido (2008) al usar un valor de  $m=2^k \geq 4$  el generador congruencial tendrá periodo completo si y solo si " $b$ " es impar y  $1 = a \pmod{4}$ , donde " $k$ " es un entero positivo, de tal manera que genera un valor de " $m$ " lo suficientemente grande para tener una sucesión de números pseudoaleatorios de periodo grande.

Olmos (s.f.) indica que en la práctica normalmente se realizan entre 5 a 6 pruebas y con respecto al número de elementos de la sucesión de números aleatorios, dicha cantidad depende del criterio del investigador, tal como:

- Bates y Zirkle en 1971, aplicaron diversas pruebas a sucesiones de 50 mil números.
- Dudewicz y Ralley, 1981, construyeron sucesiones de 10 mil números cada una, para aplicar diversas pruebas, hasta completar los 10 billones de números.

Por su parte, Learmonth y Lewis (1973) señalan que las pruebas de aleatoriedad normalmente se aplican a secciones relativamente cortas de la secuencia completa de números aleatorios, donde mostraron un estudio en el cual se analizó 6 generadores, siendo el máximo y mínimo periodo de dichos generadores de  $2^{124}-1$  y  $2^{29}$  respectivamente, aplicaron una prueba de corridas para 100 sucesiones de 65536 números pseudoaleatorios, de tal manera que cada sucesión fue generada por un valor semilla distinto.



Por tanto, Learmonth y Lewis para validar que un generador de números pseudoaleatorios es confiable, señalan que se debe aplicar las distintas pruebas de aleatoriedad a sucesiones cortas procedentes de dicho generador.

Coss Bu (2003) indica que, si bien dicha sucesión de números es generada por un método determinista, estos pueden tratarse como números aleatorios si satisfacen una serie de pruebas estadísticas, entre las que se mencionan:

- i) Prueba de Promedios y Varianza
- ii) Prueba de Frecuencias o Bondad de Ajuste
- iii) Prueba de Distancia
- iv) Prueba de Series o en todo caso la Prueba de Autocorrelaciones
- v) Prueba de Póker
- vi) Prueba de Corridas

A continuación, se indica en que consiste cada una de ellas:

- a) **Prueba de los Promedios y Varianza.** Una propiedad que se debe cumplir es que la media poblacional sea 0.5 y la varianza de 1/12

Media:  $H_0: \mu = 1/2$                        $H_1: \mu \neq 1/2$ , para la prueba de los promedios

Varianza:  $H_0: \sigma^2 = 1/12$                        $H_1: \sigma^2 \neq 1/12$ , para la prueba de varianzas

Para lo cual se puede usar el estadístico p-value, donde sí:

p-value < nivel de significancia ( $\alpha$ ) → Rechazamos  $H_0$

p-value > nivel de significancia ( $\alpha$ ) → Aceptamos  $H_0$

b) **Prueba de Bondad de Ajuste.** Para determinar a cuál distribución se ajustan mejor los datos estudiados por medio de la Prueba Chi Cuadrado la cual cuantifica la diferencia estadística entre las frecuencias observadas con las deseadas. El estadístico para determinar la aceptación o no de la hipótesis nula consiste en  $\chi_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$  cuyas hipótesis son las siguientes:

$H_0$ : La muestra proviene de una distribución Uniforme U (0,1)

$H_1$ : La muestra no proviene de una distribución Uniforme U (0,1)

Para el cual se puede usar el p-value, donde sí:

p-value <  $\alpha$  (nivel de significancia) → Rechazamos  $H_0$

p-value >  $\alpha$  (nivel de significancia) → Aceptamos  $H_0$

c) **Prueba de Distancias o Huecos.** Usada para validar que la aparición de cada número suceda de manera aleatoria. Según el tipo de secuencia de números pseudoaleatorios, se puede aplicar alguna de las siguientes pruebas (Gutiérrez, c.2017):

- Como dígitos: Se busca asegurar estadísticamente que la recurrencia de todo dígito en particular aparezca de manera aleatoria.
- Como números reales: Dado un subintervalo comprendido entre 0 y 1, se busca determinar que la recurrencia en que aparezcan los números comprendidos en dicho subintervalo aparezca de manera aleatoria.

A continuación, definimos la hipótesis nula y alternativa tal como:

$H_0$ : Los números se distribuyen de manera aleatoria

$H_1$ : Los números no se distribuyen de manera aleatoria

Por medio de la Prueba Chi-Cuadrado y su respectivo estadístico  $x_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ , se determina la aceptación o no de la hipótesis nula (Gutiérrez, c.2017). De tal manera que:

si  $x_0^2 < x_{teorico}^2$  , se acepta la hipótesis nula,

si  $x_0^2 > x_{teorico}^2$  , rechazamos la hipótesis nula,

**Prueba en números reales**, Para realizar dicha prueba se define el intervalo  $I = (\alpha, \beta)$ , tal que  $0 \leq \alpha \leq \beta \leq 1$ , de tal forma que a cada número real generado se verifique si pertenece al Intervalo I, donde sí:

$U_j \in I$ ,  $U_{j+1}$  hasta  $U_{j+k} \notin I$ , y  $U_{j+k+1} \in I$  (para  $k <$  Cantidad de números reales generados), entonces se tiene un hueco o espacio de tamaño k.

$$P_{i=n} = \theta(1-\theta)^n, P_{i \geq n} = (1-\theta)^n \quad \dots \dots \dots \text{(Fórmula 1)}$$

$$fe_i = (\sum_{i=1}^n f o_i)^* P_i \quad \dots \dots \dots \text{(Fórmula 2)}$$

$$X^2_{calculado} = X^2_o = (fo_i - fe_i)^2 / fe_i \quad \dots \dots \dots \text{(Fórmula 3)}$$

Donde:

- $fo_i$  representa la frecuencia observada para cada valor de hueco
- $i = 0, 1, 2, \dots, n$
- " $\theta = \beta - \alpha$ ", donde " $\theta$ " representa la probabilidad de que el número generado se encuentre dentro del intervalo I. (Gutiérrez, c.2017)

**Figura 2**

*Tabla para Cálculo de  $\chi_c^2$  para Bondad de Ajuste*

<i>i</i>	<i>P<sub>i</sub></i>	<i>F<sub>oi</sub></i>	<i>F<sub>ei</sub></i>	<i>X<sup>2</sup><sub>c</sub></i>
0	$\theta$	$F_{0_0}$	$\sum f_{0_0} \theta$	$(f_{0_0} - fe_1)^2 / fe_1$
1	$\theta(1-\theta)$	$F_{0_1}$	$\sum f_{0_1} \theta(1-\theta)$	$(f_{0_1} - fe_1)^2 / fe_1$
2	$\theta(1-\theta)^2$	$F_{0_2}$	$\sum f_{0_2} \theta(1-\theta)^2$	$(f_{0_2} - fe_2)^2 / fe_2$
.....	.....	.....	.....	.....
.....	$\theta(1-\theta)^i$	.....	$\sum f_{0_i} \theta(1-\theta)^i$	.....
<i>i</i>	.....	$f_{0_i}$	.....	$(f_{0_i} - fe_i)^2 / fe_i$
.....	.....	.....	.....	.....
.....	$\theta(1-\theta)^n$	.....	$\sum f_{0_n} \theta(1-\theta)^n$	.....
$\geq n$	.....	$f_{0_n}$	.....	$(f_{0_n} - fe_i)^2 / fe_i$
<b>TOTAL</b>	1.0	$\sum f_{0_i}$	$\sum f_{0_i}$	$\sum_{i=0}^n \frac{(f_{0_i} - fe_i)^2}{fe_i}$

Fuente. Tomado de Gutiérrez (c.2017)

**Utilizando la ecuación:**  $x_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_{oi} - fe_i)^2}{fe_i}$ , se compara el  $x_0^2$  con el  $x_{teorico}^2$  y como indica Gutiérrez (c. 2017), la prueba de Bondad de Ajuste es indiferente a los valores de  $\alpha$  y  $\beta$ , y se tiene que la suma de frecuencias esperadas de los tamaños de los huecos debe ser mayor a 5 unidades.

- d) **Prueba de Autocorrelación.** Prueba la correlación entre los números aleatorios para validar si presentan correlación igual a cero, lo cual indicaría la independencia de la secuencia de números pseudoaleatorios generados.

Coss Bu (2003) considera la prueba de series para comprobar el grado de aleatoriedad entre elementos con un desfase 1 de la sucesión de números pseudoaleatorios, donde el desfase “k” indica el número de pasos para ir de un elemento “ $X_i$ ” a “ $X_{i+k}$ ”.

Para validar la autocorrelación de una mayor cantidad de desfases se puede usar el Test de Ljung-Box, el cual usa el estadístico Q de Ljung-Box (LBQ), para validar la hipótesis nula de que todos los coeficientes de autocorrelación son iguales a cero de manera simultánea (Duarte y Mascareñas, 2014). Es decir:

$H_0$ : Los datos se distribuyen de manera aleatoria ( $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \dots = \rho_k = 0$ )

$H_1$ : Los datos no se distribuyen de manera aleatoria (al menos un  $\rho_k$  es diferente de cero)

Tal que, el estadístico LBQ presenta una distribución Chi-Cuadrado con “k” grados de libertad.

$$LBQ = n(n+2) \sum_{l=1}^k \frac{\rho_l^2}{n-l} \sim \chi^2_{(1-\alpha, k)} \dots\dots\dots \text{(Fórmula 4)}$$

Donde: n = tamaño de la muestra y k = longitud de retardo, la cual indica los grados de libertad,  $\alpha$  = nivel de significancia, de tal manera que:

LBQ calculado > Q confiabilidad =  $\chi^2_{(1-\alpha, i)}$ , se rechaza la hipótesis nula

LBQ calculado < Q confiabilidad =  $\chi^2_{(1-\alpha, i)}$ , se acepta la hipótesis nula

O si su p-value < inferior al nivel de significación establecido (Duarte y Mascareñas, 2014).

- e) **Prueba de Póker.** Coss Bu (2003) indica que dicha prueba sirve para validar uniformidad, tomando cinco dígitos a la vez del número real generado y clasificándolos según la cantidad de repeticiones que presenta cada dígito en su grupo de 5 (par, tercia, póker, quintilla, par y tercia), para compararlos con

una mano de póker la cual es distribuida de manera aleatoria, para lo cual se calcula el estadístico  $\chi_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_{oi}-f_{ei})^2}{f_{ei}}$  para compararlo con el  $\chi_{teorico}^2$

De tal manera, que se definen las hipótesis de la siguiente manera:

H<sub>0</sub>: Los dígitos están ordenados al azar

H<sub>1</sub>: Los dígitos no están ordenados al azar

Donde sí:  $\chi_0^2 < \chi^2_{(1-\alpha, n-1)}$ , se acepta la hipótesis nula

$\chi_0^2 > \chi^2_{(1-\alpha, n-1)}$ , se rechaza la hipótesis nula

$\alpha$ : nivel de significancia ; n: número de categorías

En la tabla 2, para calcular el estadístico  $\chi_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_{oi}-f_{ei})^2}{f_{ei}}$ , se usaron las probabilidades teóricas de ocurrencia indicadas por Ramírez (2012).

**Tabla 1**

*Probabilidades de Ocurrencia Teóricas según Categorías Prueba de Póker*

<b>Categorías</b>	<b>Probabilidad Teórica</b>
TD	0.3024
1P	0.5040
2P	0.1080
TP	0.0090
T	0.0720
P	0.0045
Q	0.0001

Fuente. Tomado de Ramírez (2012)

Donde se definen:

- **Todos Diferentes (TD):** Los 5 dígitos son diferentes entre ellos
- **1 Par(1P):** Un par de dígitos iguales, y los 3 restantes distintos
- **2 Pares (2P):** 2 Pares de dígitos iguales, y el último dígito distinto
- **1 Tercia 1 Par (TP):** 3 dígitos iguales y los 2 restantes iguales
- **1 Tercia (T):** 3 dígitos iguales y los 2 restantes distintos entre ellos
- **Póker (P):** 4 dígitos iguales y el último dígito distinto
- **Quintilla (Q):** Los 5 dígitos iguales entre sí.

**Tabla 2**

*Cálculo de  $\chi_0^2$  para Prueba de Póker*

Categoría	FO <sub>(i)</sub>	Prob(i)	FE <sub>(i)</sub>	(FO <sub>(i)</sub> -FE <sub>(i)</sub> ) <sup>2</sup> / FE <sub>(i)</sub>
TD	FO <sub>(1)</sub>	0.3024	FE <sub>1</sub> =Prob(1) * $\sum_{i=1}^7 FO_{(i)}$	(FO <sub>(1)</sub> -FE <sub>(1)</sub> ) <sup>2</sup> / FE <sub>(1)</sub>
1P	F0 <sub>(2)</sub>	0.504	FE <sub>2</sub> =Prob(2) * $\sum_{i=1}^7 FO_{(i)}$	(FO <sub>(2)</sub> -FE <sub>(2)</sub> ) <sup>2</sup> / FE <sub>(2)</sub>
2P	F0 <sub>(3)</sub>	0.108	FE <sub>3</sub> =Prob(3) * $\sum_{i=1}^7 FO_{(i)}$	(FO <sub>(3)</sub> -FE <sub>(3)</sub> ) <sup>2</sup> / FE <sub>(3)</sub>
TP	F0 <sub>(4)</sub>	0.009	FE <sub>4</sub> =Prob(4) * $\sum_{i=1}^7 FO_{(i)}$	(FO <sub>(4)</sub> -FE <sub>(4)</sub> ) <sup>2</sup> / FE <sub>(4)</sub>
T	F0 <sub>(5)</sub>	0.072	FE <sub>5</sub> =Prob(5) * $\sum_{i=1}^7 FO_{(i)}$	(FO <sub>(5)</sub> -FE <sub>(5)</sub> ) <sup>2</sup> / FE <sub>(5)</sub>
P	F0 <sub>(6)</sub>	0.0045	FE <sub>6</sub> =Prob(6) * $\sum_{i=1}^7 FO_{(i)}$	(FO <sub>(6)</sub> -FE <sub>(6)</sub> ) <sup>2</sup> / FE <sub>(6)</sub>
Q	F0 <sub>(7)</sub>	0.0001	FE <sub>7</sub> =Prob(7) * $\sum_{i=1}^7 FO_{(i)}$	(FO <sub>(7)</sub> -FE <sub>(7)</sub> ) <sup>2</sup> / FE <sub>(7)</sub>
$\sum_{i=1}^7 FO_{(i)}$			$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^7 (FO_{(i)} - FE_{(i)})^2 / FE_{(i)}$	

Fuente. Tomado de Ramírez (2012)

- f) **Prueba de Corridas.** Generalmente considerada como la prueba principal para validar independencia, por medio de la detección de un patrón de crecimiento o decrecimiento que se repitan en el flujo de los números pseudoaleatorios (Gutiérrez, c. 2017).

Soporte de Minitab 18 (s.f) indica que la prueba realizada en Minitab 18 (la cual continúa vigente en Minitab 19), consiste en la prueba de corridas arriba y debajo de la media, la cual calcula el número de corridas que están por encima o por debajo del valor de la media, tal que si el número de corridas observadas es evidentemente mayor o menor al número de corridas esperadas, se puede concluir que los datos no presentan un orden aleatorio, donde una corrida es considerada como un grupo de números consecutivos que están por encima o debajo del valor de comparación

Para determinar si dicha diferencia entre el número de corridas observadas y las esperadas es significativamente grande, Minitab 19 usa el p-value, tal que la hipótesis planteada consiste en:

$H_0$ : El orden de los números es aleatorio

$H_1$ : El orden de los números no es aleatorio

Al usarse el p-value, tenemos si:

- $p\text{-value} < \alpha$  (nivel de significancia)  $\rightarrow$  El orden de los números no es aleatorio (Rechazar  $H_0$ )
- $p\text{-value} > \alpha$  (nivel de significancia)  $\rightarrow$  No se tiene suficiente evidencia estadística para concluir que el orden de los números no es aleatorio. (No se puede rechazar  $H_0$ , por tanto se acepta  $H_0$ )



### 2.2.18. Algoritmos Genéticos

- a) **Introducción.** Basados en procesos de selección natural para explicar la evolución, descritos por Darwin, los cuales fueron adaptados por John Holland, considerado el padre de los algoritmos genéticos (Iglesias, 2013), en su Teoría de Algoritmos Genéticos fueron aplicadas por él y sus estudiantes de la Universidad de Michigan en su proyecto de investigación, dando conceptos de Biología y Genética para la aplicación de dicha teoría donde los individuos evolucionan (Trujillo, Hurtado y Álvarez, 2010).

De dicha idea se inició el método de búsqueda de los algoritmos genéticos en los cuales de forma análoga con la teoría de evolución de Darwin los individuos equivalen a soluciones factibles y a través de las generaciones evolucionan, lo cual consiste es transmitir parte de su estructura a los siguientes individuos los cuales son representados normalmente de manera binaria (Oswego State University of New York, c. 2002).

- b) **Definición.** Considerados como parte de los algoritmos heurísticos que realizan su búsqueda usando vecindades, estos algoritmos imitan a la naturaleza y usan el concepto de evolución para resolver problemas de optimización combinatoria que son considerados complejos mediante una búsqueda simultánea en diferentes regiones del espacio solución. Por medio de un operador denominado cruzamiento se intensifica la búsqueda en ciertas regiones y por el operador llamado mutación se diversifica la búsqueda por subregiones aún no exploradas (Hincapié, Ríos y Gallego, 2004).
- c) **Terminología.** Como indica Villegas (2005) para referirse a los términos usados en los algoritmos genéticos se usa terminología usada en la Biología. Las definiciones para usar son detalladas a continuación:

- **Individuo:** Es una solución potencial al problema, la cual es representada por un cromosoma.
- **Cromosoma:** Estructura de datos cuyas componentes son los genes.
- **Gen:** subcomponente del cromosoma que codifica el valor de un parámetro.
- **Población:** Conjunto de individuos representados por cromosomas.
- **Alelo:** es el valor que puede tomar una determinada posición del gen.
- **Genotipo:** Codificación de los parámetros que representa una posible solución al problema. Por ejemplo la ruta representada en un vector, cuyas componentes corresponden a las ciudades a visitar en un orden.
- **Fenotipo:** Valor decodificado del cromosoma, es decir, convertir el cromosoma a su equivalente evaluado en su función objetivo. Por ejemplo la distancia asociada a dicha ruta
- **Decodificación:** Podemos entenderlo como el proceso por el cual a cada individuo codificado (genotipo) es convertido a su equivalente por medio de la función objetivo. Es decir,  $f:\text{cromosoma}^n \rightarrow \mathbb{R}^+$ .

### Figura 3

*Ejemplo de Genotipo, Fenotipo y Decodificación*

**Genotipo:** 1-6-7-8-9-10-11-4-3-2-12-13-14-15-16-18-17-5-19-20

**Decodificación:** Distancia(1,6)+ Distancia (6,7)+...+Distancia(19,20)

**Fenotipo:** 15415 metros (aquí se asignan las unidades respectivas)

- **Generación:** Iteración donde se produce una nueva población por medio de los operadores genéticos de reproducción.
- **Función Aptitud:** Función matemática la cual permite cuantificar la calidad de la solución con respecto a otras.
- **Aptitud:** Valor asignado por la función aptitud, el cual indica que tan buena es la solución en comparación con las otras.
- **Bloque Constructor:** Grupo pequeño de genes los cuales han evolucionado tal que, al adicionarlos a un cromosoma de otro individuo, aumenta la probabilidad de mejorar la aptitud de dicho cromosoma.
- **Decepción:** condición que se da cuando dos buenos bloques constructores, cada uno perteneciente a cromosomas distintos, al combinarse forman a un cromosoma cuya aptitud es inferior a la de los cromosomas iniciales.
- **Elitismo:** Criterio por medio del cual se elige a los cromosomas de los individuos con mayor valor aptitud, con el objetivo de asegurar que dichos cromosomas transmitan su estructura a la siguiente generación.

Luego de lo mencionado anteriormente, agregamos estos conceptos para completar las ideas propuestas:

- **Convergencia del Algoritmo:** Hace referencia a que la población final presente individuos cuyos cromosomas sean muy similares, y si el proceso de producir más poblaciones al infinito resulta que todos los individuos de la población serán representados por un mismo cromosoma (López, 2009).

- **Súper Individuos:** Óptimos locales que representan buenas soluciones al problema a resolver. Pueden atraer la búsqueda a ellos y no permitir la exploración de nuevas soluciones. (Carretero, 2010).
- **Diversidad Genética:** Referente a diversidad en la distribución de los cromosomas, los cuales son usados para encontrar soluciones en el espacio de búsqueda. La diversidad genética ayuda a que los cromosomas se aglomeren alrededor de un óptimo local, y así explorar todo el espacio de búsqueda (Carretero, 2010).
- **Convergencia Prematura:** Se produce cuando un superindividuo es seleccionado en reiteradas ocasiones como padre, de tal manera que los individuos con menor aptitud ya no transmiten sus genes a las siguientes generaciones, esto provoca que el cromosoma del superindividuo se duplique en la mayoría de los individuos de la población y conforme las generaciones aumentan el algoritmo converge alrededor de este superindividuo (Carretero, 2010).
- **Ejecución:** Proceso por el cual se ejecuta un algoritmo genético a una población inicial, donde se aplican los operadores de cruce, mutación (o más operadores como elitismo) a cada generación de población. Al referirnos a múltiples ejecuciones, hacemos referencia que se generan múltiples poblaciones iniciales las cuales son evolucionadas hasta generar a un superindividuo particular a su proceso evolutivo.

### 2.2.19. Pasos para la Implementación de Algoritmos Genéticos

Como señala Michalewicz (1994, como se citó en Flores, 2014), para poder aplicarlos se requiere las siguientes componentes:

- Paso 1: Una codificación o representación genética de la posible solución por medio del cromosoma, el cual representa a un individuo de la población.
- Paso 2: Un método para generar a la población inicial.
- Paso 3: Definir una función que mida el desempeño o aptitud del cromosoma.
- Paso 4: Definición de operadores genéticos para modificar la estructura de los cromosomas seleccionados: operadores de cruzamiento y mutación.
- Paso 5: Los valores de parámetros: tamaño de población, probabilidad de cruzamiento y probabilidad de mutación.

Adicionalmente se agregaron dos componentes:

- Paso 6: Criterio de selección de padres para la siguiente población.
- Paso 7: Y un criterio de parada de la metaheurística.

A continuación, se explica en que consiste cada uno de los pasos:

***Paso 1: Representación del Cromosoma.*** Como indican Arranz de la Peña y Parra (2007) la representación debe tener información con respecto a la solución que representa. Es decir, cada posible solución debe ser representada por un cromosoma cuyas componentes se ajusten según las restricciones del problema a tratar y ayuden a manejar mejor el proceso de búsqueda de soluciones.

Por tanto, enunciamos la clasificación de Arranz de la Peña y Parra (2007):

- **Representación Binaria:** Representación más utilizada, fue la primera en usarse y en la cual los genes toman valores de “0” o “1”. Dicha representación puede abarcar muchas soluciones y en la práctica en ocasiones se debe realizar correcciones en los cromosomas debido a la creación de hijos no factibles durante la aplicación de los operadores genéticos (Arranz de la Peña y Parra, 2007).
- **Representación Numérica:** Representación que usa números enteros positivos, principalmente utilizada para representar una secuencia donde importa el orden, tal como es el caso del Problema del Agente Viajero (Arranz de la Peña y Parra, 2007). De igual manera Larrañaga, Kuijpers, Murga, Inza y Dizdarevic (1999) también usan dicha representación para el problema del agente viajero.
- **Representación por Valor Directo:** Arranz de la Peña y Parra (2007) indican que en esta representación los genes pueden tomar valores de números reales, cadena de caracteres o la combinación de ambos, con el inconveniente que para el cruce, mutación y selección se deben implementar nuevos operadores personalizados.
- **Representación en Árbol:** Esta representación es usada en el desarrollo de programas en la programación genética, donde cada individuo tendrá la representación de un árbol (Arranz de la Peña y Parra, 2007).

***Paso 2: Creación de una Población Inicial (Popsiz).*** La población inicial constituye el conjunto de soluciones generadas de manera aleatoria, donde cada solución es codificada o representada por medio de un arreglo unidimensional (Idrobo, Santos y Pérez, 2005).

Moreno (2019) nos recomienda no usar los generadores de números aleatorios que traen por defecto los lenguajes de programación porque en general presentan un periodo muy corto. En los generadores de números aleatorios respecto a la población inicial se presentan dos aspectos importantes: un método para crear dicha población y la determinación de su tamaño, los cuales mencionamos a continuación:

- Un método para la creación de la población inicial, Flores (2014) afirma que: “Los individuos de la población inicial se crean aleatoriamente generando uniformemente sus coordenadas entre los valores de los límites establecidos de antemano para cada coordenada” (p. 21).
- El tamaño de dicha población, Alanderk (1992, como se citó en Vicario, Colodro, López, Moratilla y Fernández, 2018) sugiere que para:
  - *Representaciones binarias*, se recomienda usar un tamaño de población comprendido entre “L” y “2L”, donde “L” es el valor de la longitud del cromosoma.
  - *Representaciones no binarias*, se recomienda experimentar por medio de ensayo y error sobre la ejecución del algoritmo, con distintos valores para determinar cual resulta más eficiente.

Donde un numero pequeño de población produce poca variedad de soluciones y una cantidad elevada hace lenta la búsqueda de la mejor solución y producirá más consumo de memoria virtual de la computadora (Moreno, 2019).

**Paso 3: Función de Desempeño o Aptitud.** Cada individuo de la población necesita evaluarse en función a su grado de aporte para encontrar una buena solución, para esto se construye una expresión lineal, la cual toma los

coeficientes de las componentes del vector que representa al individuo para así cuantificar la calidad de cada cromosoma de la población (Flores, 2014).

#### ***Paso 4: Operadores Genéticos.***

- i) Operador Selección.** Proceso por el cual se establece una regla o criterio para poder seleccionar los cromosomas, a los que llamaremos padres, a partir de los cuales se crearán los nuevos cromosomas hijos (Villegas, 2005).

Villegas (2005), divide dicho operador en tres grupos: selección proporcional en la cual se encuentra el método de la ruleta, selección por torneo y selección de estado uniforme.

- **La Ruleta**, Carvajal (2011), es un método donde se supone una ruleta de 360°, en la cual se distribuyen todos los cromosomas de la población en un sector circular cuyo tamaño es proporcional a su aptitud. Luego, se genera un número aleatorio, el cual representará una posición de la ruleta y el cromosoma asociado a dicha posición para el cruzamiento.
- **Selección por Torneo**, selección con base en comparaciones entre una cantidad determinada de individuos. Existen dos tipos: Determinística, donde se elige al azar una cantidad “p” de individuos y se elige al de mayor aptitud; Probabilística, se genera un número al azar para validar si supera un valor umbral en cuyo caso se elige al individuo con mayor valor aptitud y caso contrario se elige al de menor aptitud (Gestal, s.f.)



- **Selección de Estado Uniforme**, los individuos cuyos cromosomas tengan un menor valor de adaptación se reemplazarán en cada generación (Villegas, 2005)

Adicionamos una selección mencionada por Arranz de la Peña y Parra (2007):

- **Selección Elitista**, Durante el proceso de cruzamiento y mutación pueden perderse cromosomas que presenten un alto valor de aptitud, para evitar esta posible pérdida se copian el mejor o algunos de los cromosomas con mejor valor de aptitud a la siguiente población (Arranz de la Peña y Parra, 2007).

ii) **Operador de Cruce**. Consiste en intercambiar una o más subsecciones de una pareja de cromosomas entre sí (Villegas, 2005). Sanz (2001) indica la importancia del operador genético en la búsqueda de soluciones y por tal motivo distintos investigadores han realizado esfuerzos para incrementar su potencia de búsqueda.

A continuación, se detallan algunos tipos de cruce:

- **Cruce de un Punto**, Se determina un punto de corte en base al cual se procede a intercambiar subsecciones de los cromosomas seleccionados (Villegas, 2005).
- **Cruce a dos Puntos**, Se determina dos puntos de corte y en base a estos se realiza el intercambio de subsecciones (Villegas, 2005).

Jong (1975, citado en Corral, 2018) recomienda usar un cruce a dos puntos al presentar mejores efectos en los resultados obtenidos que al usar una mayor o menor cantidad de cortes.

- **Cruce Uniforme**, Corral (2018) nos indica que dicho cruce fue propuesto por Syswerda en 1991, donde cada gen del hijo es seleccionado de uno de los padres con base en una máscara de cruce la cual es generada de manera aleatoria.
- **Cruce Basado en Alternancia de Posiciones**, los genes de los hijos son copiados al seleccionar de manera alternada los genes de los padres omitiendo los valores ya repetidos (Larrañaga et al., 1999).

Por ejemplo, al presentar los siguientes padres:

Padre 1 → 1-2-3-4-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-17-16-18-5-19-20

Padre 2 → 1-6-7-8-9-10-11-4-3-2-12-13-14-15-16-18-17-5-19-20

Para la creación del Hijo 1, empezamos eligiendo el primer gen del primer padre, posteriormente el primer gen del segundo padre y así sucesivamente

Hijo1(temporal) → 1-1-2-6-3-7-4-8-6-9-7-10-8-11-9-4-10-3-11-2-12-12-13-13-14-14-15-15-17-16-16-18-18-17-5-5-19-19-20-20

Del Hijo temporal 1, se aplica el criterio de eliminar los genes repetidos, de tal manera que se eliminan los genes que presenta una segunda aparición.

Hijo 1 → 1-2-6-3-7-4-8-9-10-11-12-13-14-15-17-16-18-5-19-20

De manera análoga se genera al Hijo 2, pero se inicia la alternancia con el primer gen del Padre 2.

- iii) **Operador de Mutación**, Ruge y Alvis (2009) definen al operador de mutación como un proceso el cual: “consiste en alterar las características genéticas de un individuo, con el objeto de aumentar la probabilidad de exploración del espacio de búsqueda y disminuir el riesgo de estancamiento del algoritmo en óptimos locales” (p. 83).

A continuación, veremos algunas formas mencionadas por Larrañaga et al (1999):

- Mutación de Desplazamiento: Consiste en seleccionar un bloque del cromosoma y ubicarlo en otra posición de manera aleatoria.
- Mutación de Intercambio: Selecciona aleatoriamente dos genes del cromosoma e intercambia su de posición.
- Mutación de Inserción: Se elige de manera aleatoria un gen y se inserta de manera aleatoria en otra posición del cromosoma.
- Simple inversión de mutación: Selecciona dos puntos de corte de manera aleatoria, los genes ubicados entre estos dos puntos forman una subcadena los cuales son invertidos en su posición.

**Paso 5: Valor de Parámetros.** Según Arranz de la Peña y Parra (2007) debemos tomar en cuenta estos parámetros para la implementación del algoritmo genético:

- *Tamaño de Población Inicial*: indica la cantidad de individuos, representados por sus respectivos cromosomas, con los cuales se realizarán los operadores genéticos en cada generación. Si se escoge un tamaño pequeño el algoritmo genético realizará una búsqueda escasa en el espacio solución y si la cantidad es muy elevada la búsqueda se realizará de forma lenta.

- *Probabilidad de Cruzamiento*: Indica con qué frecuencia se realizará el proceso de cruce. En caso de ser un valor muy alto, cercano a 1, mayor diversidad en los hijos, y un valor muy bajo implica hijos con mayor posibilidad de ser idénticos a los padres y por tanto no se explorará algunas soluciones (poca diversidad).
- *Probabilidad de Mutación*: Indica la frecuencia con la que uno o más genes del cromosoma se intercambiarán de posición.

Hincapié et al. (2004), nos recomienda elegir una tasa de mutación entre [0.001, 0.05], tal valor nos ayuda a salir de óptimos locales.

**Paso 6: Criterio de Selección para la Nueva Población.** Si bien el criterio para seleccionar a los nuevos cromosomas puede ser elegido por el investigador, entre ellos podemos mencionar:

- *Selección por Ranking* entre los cromosomas de los padres e hijos generados, así permanecen los individuos mejor adaptados (Idrobo, Santos y Pérez, 2005).
- Seleccionar los cromosomas de los hijos y desechar a los padres.
- Otros que el investigador considere oportunos.

**Paso 7: Criterio de Parada de la Metaheurística.** Condición que debe cumplirse para terminar la búsqueda. Idrobo, Santos y Pérez (2005) sugieren:

- Detener el algoritmo cuando se encuentre un individuo con un valor aptitud mayor o igual que un valor definido al inicio de la ejecución.
- Si al seguir iterando el algoritmo, el individuo con mejor valor aptitud no mejora durante una cierta cantidad de iteraciones.

Definimos adicionalmente dos criterios dados por Carretero (2010):

- Detenerse una vez se haya alcanzado un número máximo de iteraciones.
- La convergencia genética de la población y como indica De Jong (citado en Carretero, 2010), un gen converge cuando el 95% de su población analizada comparte el mismo valor para ese gen. Como indica Villegas (2005), con esto se espera que la población final sea muy semejante en termino de genes y que se reduzca a un solo cromosoma.

### 2.2.20. Teorema de Esquemas

López (2009) indica que el esquema (schema) en la representación binaria es una cadena cuyas componentes son "0", "1" y "\*", donde el "\*" representa la posibilidad de poder insertar en esa posición el valor "0" o "1". A partir de ello el esquema representa a todos los cromosomas que tienen el "0" y "1" en la posición definida inicialmente y que pueden contener al "0" o "1" en las posiciones donde indica el "\*", es decir, es una forma de representar a un conjunto de cromosomas.

De igual manera, mostrando el ejemplo de López (2009), al trabajar con un cromosoma de longitud 4 y con representación binaria el esquema (0\*10) representa a los cromosomas (0110) y (0010), de tal manera que el esquema puede ser denotado por "H". En el caso de usar una representación no binaria, las componentes del esquema serían los valores permitidos para los genes y los "\*" que representan la posibilidad de tomar uno de dichos valores. Mostramos algunas propiedades de los esquemas mencionados por López (2009):

- *El orden del esquema*, denotado por  $O(H)$ , representa al número de genes fijos en el cromosoma, es decir los genes distintos de “\*”).
- *Longitud del esquema*, denotado por  $\delta(H)$ , representa la distancia entre la ubicación de la última y la primera posición definidas en el esquema (diferentes de “\*”).
- *Aptitud de Esquema*, promedio de aptitudes de cromosomas de la población los cuales son representados por dicho esquema en el instante de tiempo “t”.
- *Aptitud media de la población en el instante de tiempo “t”*, indica el promedio de todas las aptitudes de los cromosomas de una determinada población.

Entonces, el *Teorema de Esquemas* indica qué esquemas de corta longitud, con bajo orden y aptitud superior a la aptitud media de la población logran transmitir estos esquemas al resto de generaciones, tales esquemas son denominados: “Bloques de Construcción”. Es decir, los bloques de construcción presentan una mayor probabilidad de formar parte de los nuevos cromosomas por el proceso de selección, reproducción y mutación (López, 2009).

### **2.2.21. Un Adicional al Teorema de Esquemas**

En términos menos formales como indica Iglesias (2013): Holland en 1975 con base en estudios realizados con el algoritmo canónico básico y los operadores de cruce y mutación estableció el *Teorema de los Esquemas*, el cual indica que el algoritmo genético dirige la búsqueda de la mejor solución a espacios cuyas medias son más adecuadas, por medio de los individuos mejor adaptados los cuales presentan una mayor probabilidad de transmitir sus genes

por medio de bloques constructores, razón por la cual es importante definir de manera correcta la función aptitud. En tales estudios a través de experimentos empíricos se encontró evidencia de que los Algoritmos Genéticos Canónicos en ciertas ocasiones podían encontrar buenas soluciones a problemas de optimización complejos, donde se tenían pocos resultados teóricos respecto a la convergencia de estos, sin conocer un criterio de optimización de tal manera que este nos llevara a aproximarnos a un óptimo global en todos los casos.

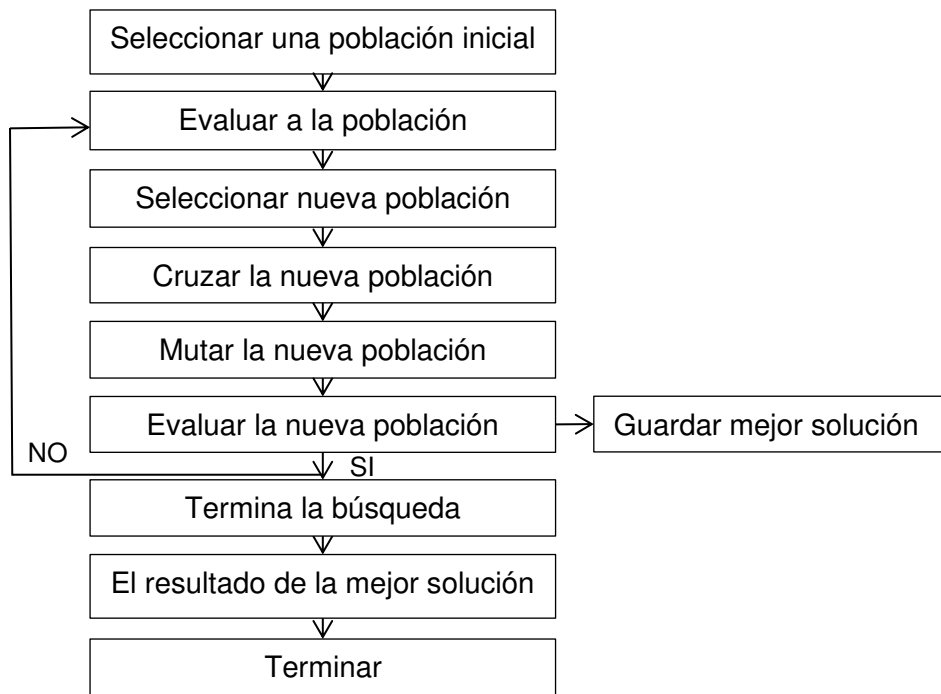
Rudolph (1994), analizó las propiedades de convergencia del Algoritmo Genético Canónico con los operadores de cruce, selección proporcional y mutación, aplicados a problemas de optimización. Como resultado de dicho estudio demostró por medio de un análisis homogéneo finito de las cadenas de Márkov la no convergencia del Algoritmo Genético Canónico al óptimo global por más que se modifiquen los valores de los parámetros de inicialización, pero al modificar dicho Algoritmo Genético Canónico con una variante la cual consiste en mantener al mejor individuo de cada generación para ser un individuo de la siguiente población en la que se aplicarán los operadores genéticos, lo cual permite la convergencia al óptimo global.

#### **2.2.22. Diagrama para Implementar un Algoritmo Genético Elitista**

En la Figura 4 se muestra el diagrama del pseudocódigo de un Algoritmo Genético Canónico con la modificación sugerida por Flores (2014) de guardar la mejor solución de cada generación para que forme parte de la siguiente población a generar y participe en los procesos de cruce y mutación con el objetivo de que sus bloques sean transmitidos a las demás poblaciones generadas y así permita la convergencia a un óptimo local cercano al global.

**Figura 4**

*Diagrama de Flujo Algoritmo Genético Canónico guardando la Mejor Solución*



**Fuente.** Tomado de *Algoritmos Genéticos, Series de Tiempo y Funciones de transferencia*(p.24), por Flores, 2014, Editorial Publicia.

De la Figura 4, el criterio de guardar la mejor solución para ser introducida en la siguiente población a evolucionar es la propuesta hecha por Rudolph en 1994 y aplicada en la investigación de Flores en 2014.

Por lo cual, se presenta una variante la cual consiste en crear una subpoblación temporal (con el doble de tamaño de la población a evolucionar), la cual será conformada por la totalidad de cromosomas hijos producidos y el total de padres de la misma generación a los cuales se les aplicará un criterio con porcentaje elitista, el cual consiste en seleccionar un porcentaje de los mejores individuos de la población temporal y el resto de individuos ser seleccionados con



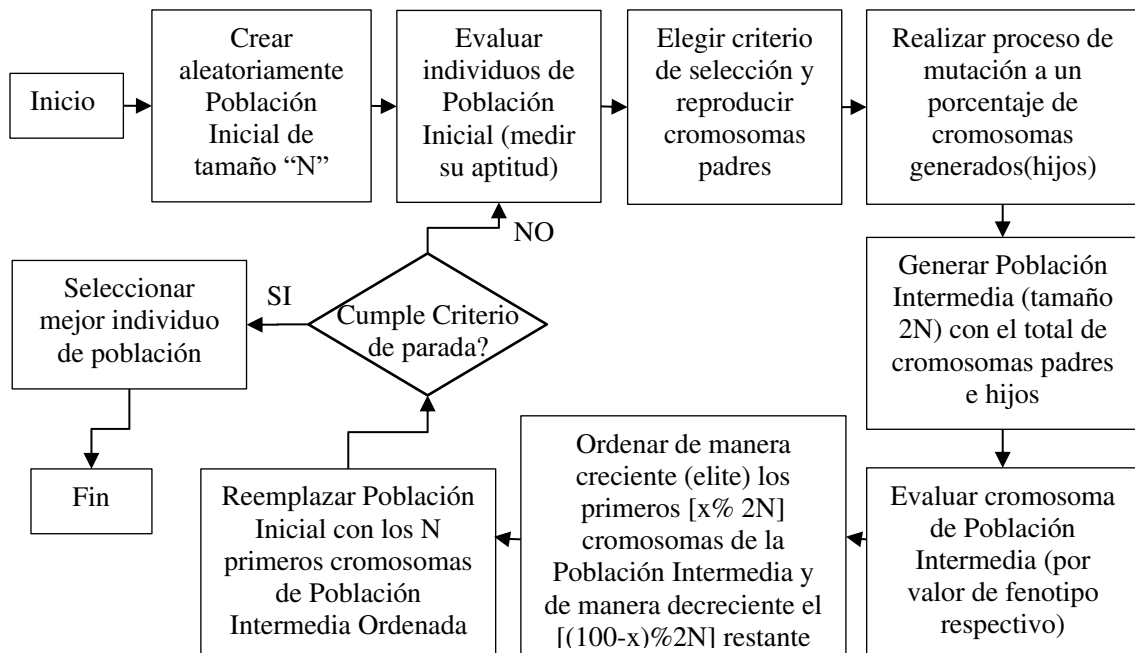
los peores individuos hasta completar el tamaño de la población inicial, con el objetivo de crear diversidad genética. La población resultante reemplazará a la población inicial de padres, para cumplir con el proceso evolutivo y seguir generando nuevas poblaciones evolucionadas hasta cumplir el criterio de parada.

Del procedimiento descrito, al cumplir el criterio de parada, de la última población generada se elige al cromosoma con mayor valor aptitud (mejor individuo), el cual se presentará como la solución del problema. Se hace hincapié que dicha solución no necesariamente es la óptima por haber sido obtenida por un algoritmo metaheurístico.

Dicho procedimiento para la ejecución del algoritmo genético fue denominado como un Algoritmo Genético con un criterio Elitista. A continuación, en la Figura 5 se puede visualizar el Diagrama de Flujo de las operaciones y criterio que realizará el Algoritmo Elitista propuesto.

**Figura 5**

*Diagrama de Flujo de un Algoritmo Genético con Criterio Elitista*



De la Figura 5, denominamos:

- *Un Criterio Elitista.* A la operación de elegir un porcentaje de cromosomas de la Población Intermedia para ordenarlos (según su fenotipo) de manera creciente (elite) y con el resto de los Cromosomas ordenarlos de manera decreciente. De la Población Intermedia Ordenada seleccionar a los “N” primeros cromosomas (los cuales forman parte de nuestro elite). Donde dicho criterio puede diferir según la inventiva del investigador, por ejemplo, otro criterio elitista puede consistir en elegir una cantidad fija de cromosomas a ordenar tal como elegir los 10 mejores individuos de la Población Intermedia.

### 2.3. Marco Conceptual

**Camino:** “Vía terrestre para el tránsito de vehículos motorizados y no motorizados, peatones y animales, con excepción de vías férreas” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2018, pág. 6).

**Clientes:** Llamaremos así a las personas o entidades que generan los residuos sólidos, y que son beneficiados por el servicio de recolección de estos, que brinda la municipalidad.

**Contenedor:** “1. Embalaje metálico grande y recuperable, de tipos y dimensiones normalizados internacionalmente y con dispositivos para facilitar su manejo. || 2. Recipiente amplio para depositar residuos diversos” (Real Academia Española, 2014, pág. 616)

**Contenedor Soterrado:** Son contenedores destinados a la recogida de residuos sólidos urbanos. Los residuos depositados en estos

contenedores permanecen bajo tierra porque los contenedores son dispuestos de manera subterránea.

**Disposición Final:** “Procesos y operaciones para tratar y disponer en un lugar los residuos como último proceso de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura” (Ministerio del Ambiente, 2019, pág. 24).

**Función Decreciente:** En matemáticas dado un intervalo  $I = [x_1, x_2]$ , si  $f(x_2) > f(x_1)$  para  $x_2 < x_1$ , entonces  $f(x)$  es una función decreciente en dicho intervalo. (Flores, 2004). Dicho de otro modo, una función decreciente es aquella que cuando el valor de la variable independiente aumenta (disminuye) el valor de la variable dependiente disminuye (aumenta).

**Gases de Efecto Invernadero (GEI):** “Gases integrantes de la Atmósfera, de origen natural o humano que atrapan energía del sol en la atmósfera, provocando que esta se caliente” (Ministerio del Ambiente, 2019, pág. 24).

**Gestión integral de residuos sólidos:** “Toda actividad técnica administrativa de planificación, coordinación, concertación, diseño, aplicación y evaluación de políticas, estrategias, planes y programas de acción de manejo apropiado de los residuos sólidos” (Ministerio del Ambiente, 2019, pág. 24).

**Punto Crítico:** “Son los lugares de acumulación temporal de residuos sólidos municipales generados en vías, espacios y áreas pública; la cual pueden generarse en las etapas de barrido, almacenamiento y recolección y transporte” (Ministerio del Ambiente, 2019, pág. 25). Para la presente investigación consistirán en la ubicación de los contenedores soterrados, adicionando la ubicación del Relleno Sanitario y del taller de Maestranza.

**Recolección:** “Acción de recoger los residuos para transferirlos mediante un medio de locomoción apropiado, y luego continuar su posterior manejo, en forma sanitaria, segura y ambientalmente adecuada” (Ministerio del Ambiente, 2019, pág. 25).

**Relleno Sanitario:** “Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos municipales a superficie o bajo tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental” (Ministerio del Ambiente, 2019, pág. 25).

**Residuo:** “1. Parte o porción que queda de un todo. || 2. Aquello que resulta de la descomposición o destrucción de algo. || 3. Material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación” (Real Academia Española, 2014, pág. 1906)

**Residuos Domiciliarios:** “Son aquellos residuos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas. Se consideran también residuos domésticos los similares a los anteriores generados en servicios e industrias” (Rivas, 2018).

**Residuos Municipales:** “Están conformados por los residuos domiciliarios y los provenientes del barrido y limpieza de espacios públicos, incluyendo playas, actividades comerciales y otras actividades urbanas no domiciliarias cuyos residuos se pueden asimilar a los servicios de limpieza pública” (Ministerio del Ambiente, 2019, pág. 25).

**Residuos Municipales especiales:** “Aquellos que, siendo generados en áreas urbanas, por su volumen o características, requieren de un manejo particular, tales como residuos de laboratorio de ensayos ambientales y similares, lubricentros, centros veterinarios, centros comerciales, eventos masivos” (Ministerio del Ambiente, 2019, pág. 25).

**Residuos Sólidos:** “(...) constituyen aquellos materiales desechados tras su vida útil, y que por lo general por sí solos carecen de valor económico” (Rivas, 2018).

**Ruta:** “Carretera definida entre dos puntos determinados, con origen, itinerario y destino debidamente identificados” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones[MTC], 2018, pág. 20). Es decir, una ruta corresponde a un camino que conecta dos puntos determinados (Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú [MTC],2018).

**Ruteo:** Rivas (2018) la define como: “la descripción detallada a nivel de las calles y manzanas del trayecto de un vehículo o cuadrilla, para la prestación del servicio público de recolección de residuos (...)” (diapositiva 15).

**Sistema de Manejo de Residuos Sólidos:** “Conjunto de operaciones y procesos para el manejo de los residuos a fin de asegurar su control y manejo ambientalmente adecuado” (Ministerio del Ambiente, 2019, pág. 25).

**Soterráneo:** Referido a subterráneo (Real Academia Española, 2014).

**Subterráneos:** “Que esta debajo de la tierra, lugar o espacio que esta debajo de tierra” (Real Academia Española, 2014, pág. 2047).

**Taller de Maestranza:** Se puede definir como “Conjunto de talleres y oficinas donde se construyen y recomponen los montajes para las piezas de artillería, así como los carros y útiles necesarios para su servicio” (Real Academia Española, 2014, p. 1375). Dentro de la Municipalidad de Bellavista, el taller de Maestranza se encarga del mantenimiento preventivo y correctivo de las unidades o vehículos recolectore y equipos y, por ende, se encarga de que los instrumentos necesarios para poder

realizar una adecuada recolección se encuentren en un funcionamiento adecuado, esto es lo relacionado al mantenimiento de los instrumentos que permiten la recolección de los residuos sólidos municipales.

**Trasferencia:** “Proceso u operación que consiste en transferir los residuos sólidos de un vehículo de menor capacidad a otro de mayor capacidad para luego continuar en el proceso de transporte” (Ministerio del Ambiente, 2019, pág. 25).

**Transporte:** Como indica el MINAM (s.f.), el transporte es el “proceso por el cual los residuos recolectados se trasladan a lugares donde serán procesados de manera sanitaria, segura y ambientalmente adecuada” (p.103).

**Usuario:** Hace referencia a la persona natural, pública o privada, las cuales hacen uso de los contenedores soterrados para el depósito de sus residuos generados.

**Vehículo:** “Todo medio capaz de desplazarse que sirve para transportar personas o mercancías” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2018, pág. 22). En este caso se transportan residuos sólidos

## **CAPÍTULO 3.**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Introducción**

La Municipalidad Distrital de Bellavista, ubicada en la Provincia Constitucional del Callao, es la encargada de brindar el servicio de recolección y transporte para la disposición final de residuos sólidos por medio de la unidad de Maestranza de la Subgerencia de Limpieza Pública y el Consorcio Ecológico Bellavista, el cual se encuentra conformado por las empresas BB &M Servicios Generales SAC e Investment Aras SAC (Municipalidad Distrital de Bellavista, 2021).

Según el *Diagnóstico de Recolección de Residuos Sólidos Municipales*, del año 2021, el distrito de Bellavista presentó un total de 115 contenedores soterrados de carga vertical, útiles, los cuales se encontraron distribuidos a lo largo del distrito, de tal manera que la unidad de maestranza definió seis sectores de frecuencia diaria para la recolección de residuos sólidos ubicados en dichos contenedores, cinco de las cuales para visitar los 115 contenedores en mención y un sector de repaso para los contenedores con mayor acumulación de residuos sólidos, según estudios previos por parte de la unidad de maestranza (Gerencia de Gestión Ambiental y Servicios a la Ciudad de la Municipalidad Distrital de Bellavista, 2021). Este servicio se brinda los 365 días del año, incluyendo los

feriados y/o días festivos donde la cantidad de residuos sólidos puede ser mayor provocando que se realice la misma ruta en más de una oportunidad. En la presente investigación se tomó como base el escenario frecuente en el cual la generación de residuos sólidos no supera la capacidad del vehículo recolector.

Dentro de los supuestos que la unidad Subgerencia de Limpieza Pública determinó con base en estudios previos tenemos los siguientes:

- a) Los 115 contenedores soterrados de carga vertical que se encuentran distribuidos a lo largo del distrito, son asignados a un determinado vehículo recolector en un turno determinado generando seis sectores según:

**Tabla 3**

*Relación de Unidades para Recolección y Transporte de Residuos Sólidos*

Unidad	Sector	Placa	Tipo de Grúa	Capacidad	Horario
Propia	G-01	BEL-09	Compactadora	15 m <sup>3</sup>	5am - 1pm
Propia	G-02	BEL-07	Compactadora	15 m <sup>3</sup>	5am - 1pm
Consortio	G-03	BEY-862	Compactadora	15 m <sup>3</sup>	5am - 1pm
Propia	G-04	BEL-05	No Compactadora	14 m <sup>3</sup>	12pm - 8pm
Propia	G-05	BEL-07	Compactadora	16 m <sup>3</sup>	12pm - 8pm
Consortio	G-06	BEY-862	Compactadora	15 m <sup>3</sup>	12pm - 8pm

Fuente. Diagnóstico de Recolección de Residuos Sólidos Municipales, Gerencia de Gestión Ambiental y Servicios a la Ciudad, 2021.

Nota. El G-0(numeral) hace referencia al Sector G-0(numeral), y al usar el término *Ruta G-0(numeral)* hace referencia a la Ruta respectiva de Sector G-0(numeral).

- b) Cada sector tiene asignada una determinada cantidad de contenedores soterrados, los cuales bajo condiciones normales presentan una oferta que no excede la capacidad del camión recolector.



**Tabla 4***Cantidad de Contenedores Soterrados Asignados por Sector*

Descripción	Sector	Turno	Contenedores
Zona 4	G-01	Mañana	25
Zona 4 y 3	G-02	Mañana	21
Zona 3	G-03	Mañana	26
Zona 3 y 2	G-04	Tarde	23
Zona 1	G-05	Tarde	20
Zona 4 y 3	G-06*	Tarde	22

Fuente. Diagnóstico de Recolección de Residuos Sólidos Municipales, Gerencia de Gestión Ambiental y Servicios a la Ciudad, 2021

(\*) Turno repaso, el cual visita contenedores de mayor demanda.

- c) El vehículo recolector inicia y termina su ruta en la unidad de Maestranza, ubicada en Av. Miguel Grau 2261-2205, Bellavista 07001, tal que el último nodo a visitar consiste en el Relleno sanitario modelo de Ventanilla, ubicado en Arica, Ventanilla 07046, donde se entregan los residuos sólidos recolectados. Por tanto, se buscó redefinir las calles y avenidas por las cuales deberán pasar los camiones recolectores para cumplir sus visitas a los contenedores soterrados de carga vertical asignados según el turno.

### **3.2. Tipo de Investigación**

La presente investigación es de tipo básica, debido a que es una propuesta cuya ejecución dependerá del análisis y decisión de su aplicación por el personal de la Subgerencia de Limpieza Pública de la Municipalidad de Bellavista .

### **3.3. Diseño de la Investigación**

Al reunir información de un periodo de tiempo específico se trabajó con un diseño transversal donde según Arbaiza (2014), un estudio transversal ocurre cuando obtenemos información del fenómeno a estudiar en un punto de tiempo, en nuestro caso la información fue reunida y validada durante junio del 2021 y al no experimentar con la realidad para modificarla y evaluar el impacto de dichas modificaciones en la recolección y transporte de residuos sólidos, ubicados en los contenedores soterrados de carga vertical, se usó un enfoque no experimental para el diseño transversal. Es decir, el diseño consistió en uno transversal, no experimental.

### **3.4. Nivel de la Investigación**

En búsqueda de entender mejor cómo funciona el problema de ruteo de vehículos para recolección y transporte de residuos sólidos y diseñar un mecanismo para la construcción de rutas, se usó un nivel de investigación Explicativo.

### **3.5. Enfoque de la Investigación**

Dado que el objetivo de la presente investigación fue determinar rutas que permitan establecer menores recorridos durante la recolección de residuos sólidos ubicados en los contenedores soterrados en el distrito de Bellavista-Callao, se utilizó un estudio cuantitativo para la medición de la variable en estudio.

### 3.6. Definición de Variables de Estudio

- a) **Variable Independiente.** La ruta
- b) **Variable Interviniente.** Distancia Recorrida asociada a la ruta.
- c) **Variable Dependiente.** Costo de Recolección y Transporte de Residuos Sólidos en contenedores soterrados.
- d) **Parámetros.** Cantidad de unidades recolectoras, cantidad de contenedores soterrados de carga vertical y su respectiva ubicación.

### 3.7. Unidad de Análisis

Es el elemento mínimo observable y medible en comparación con otros elementos de su mismo tipo en el estudio. Por tanto, para la presente investigación la unidad de análisis consistió en “una ruta”.

### 3.8. Población de Estudio

El total de rutas existentes para el recojo de residuos sólidos ubicados en los contenedores soterrados de carga vertical, según la asignación de contenedores asignados a cada vehículo recolector en su respectivo turno.

Para determinar la cantidad de rutas posibles, debemos diferenciar entre los dos tipos de grafos con los que se trabajó en la presente investigación:

- **Grafo Tipo 1 (T1):** Cuyos nodos representan intersecciones de calles dentro del sector correspondiente e intersecciones de avenidas principales fuera del sector de recojo, que son necesarias para transportar los

residuos al relleno sanitario y regresar al taller de maestranza. De tal manera que a partir de la construcción de dicho grafo se aplicó el algoritmo de Floyd Warshall para determinar rutas eficientes entre cada par de nodos.

- **Grafo Tipo 2 (T2):** Cuyos nodos representan únicamente ubicaciones de puntos críticos (contenedores soterrados, maestranza y el Relleno Sanitario). De tal manera que se aplicó un Algoritmo Genético el cual usará las rutas y distancias determinadas en el Grafo Tipo 1 para establecer un orden para el recojo y transporte de residuos sólidos domésticos.

Por tanto, la cantidad de rutas posibles se determinan calculando las rutas del Grafo Tipo 2, lo cual consiste en el factorial de la cantidad de contenedores soterrados de cada sector, donde Maestranza y Relleno Sanitario son puntos fijos.

**Tabla 5**

*Cantidad de Rutas de Recolección según Sector*

Sector	Contenedores	Cantidad de Rutas Posible
G-01	25	Factorial (25) $\approx 1.5511 \times 10^{25}$ rutas
G-02	21	Factorial (21) $\approx 5.1091 \times 10^{19}$ rutas
G-03	26	Factorial (26) $\approx 4.0329 \times 10^{26}$ rutas
G-04	23	Factorial (23) $\approx 2.5852 \times 10^{22}$ rutas
G-05	20	Factorial (20) $\approx 2.4329 \times 10^{18}$ rutas
G-06*	22	Factorial (22) $\approx 1.1240 \times 10^{21}$ rutas
<b>TOTAL</b>	<b>137</b>	<b><math>4.188 \times 10^{26}</math> rutas</b>

(\*) Turno Repaso, con el cual la cantidad de 115 contenedores aumenta a 137, siendo los últimos 22 contenedores que se visitan por una segunda vez en un horario distinto.

### **3.9. Tamaño de la Muestra**

Para la ejecución del algoritmo genético se genera una *cantidad de rutas*, que en la nomenclatura del algoritmo son conocidas como *individuos*. Alanderk (1992, como se citó en Vicario, Colodro, López, Moratilla y Fernández, 2018) indica que al usar una representación no binaria es necesario realizar experimentación con base en ensayo y error sobre el algoritmo para determinar un tamaño adecuado y no depende de una fórmula en particular. Por lo cual, se realizaron pruebas con distintos tamaños de muestra, determinándose un tamaño adecuado de 2000 individuos.

### **3.10. Selección de la Muestra**

La muestra es generada por el método congruencial de números pseudoaleatorios, a los cuales se les realizó las pruebas de aleatoriedad e independencia respectiva que demuestran que los números generados pueden ser usados como números aleatorios.

### **3.11. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

- Entrevista con personal de Maestranza y Subgerencia de Limpieza Pública del municipio por medio de una guía de entrevista (Anexo 66).
- Análisis de documentos: informes de estudios, Memoria Descriptiva, rutas y zonificación entre otros entregados por parte de la Subgerencia de Limpieza Pública de la Municipalidad de Bellavista.
- Análisis de información disponible en la web, por ser de acceso público.

- Observación, consistió en validar: las ubicaciones de los contenedores soterrados, sentido de calles y nuevos desvíos.

### **3.12. Método**

El Método utilizado consistió en el analítico-sintético, el cual consta de dos partes: analizar y síntesis. De tal manera que el análisis consistió en descomponer el problema en partes más pequeñas a resolver para posteriormente recomponer estas partes en la etapa de síntesis.

### **3.13. Procedimiento Previo para la Ejecución del Algoritmo Genético**

Se debe visitar las ubicaciones de los contenedores soterrados asignados a un camión recolector para el recojo de los residuos sólidos, para su respectiva descarga en el Relleno Sanitario y posterior regreso del camión recolector al taller de maestranza, de tal manera que la distancia recorrida asociada a la nueva ruta ayude a reducir los costos de recolección y transporte de la Municipalidad de Bellavista.

Estamos frente a un problema del agente viajero, en el cual buscamos una ruta que pase por todos los puntos críticos asignados a un camión recolector (nuestro agente viajero) de tal manera que la distancia recorrida durante su visita a dichos puntos críticos sea mínima, donde los puntos críticos se definen como:

- Las ubicaciones del taller de maestranza, punto de partida y de llegada del camión recolector.
- Los contenedores soterrados, puntos de visita intermedios,

- El Relleno Sanitario, último punto visitado por el camión recolector donde se depositan los residuos recolectados para luego regresar al taller de maestranza.

Según la definición presentada en el ítem 2.2.13, los métodos metaheurísticos permiten una búsqueda eficiente para encontrar buenas soluciones al Problema del Agente Viajero, por lo cual, en la presente investigación se usó la metaheurística de los Algoritmos Genéticos.

Debido a ello, se definieron los pasos previos a la ejecución del algoritmo genético que se detallan a continuación:

### **Paso 1. Representación del Cromosoma**

Se usó la representación numérica la cual es recomendada por Arranz de la Peña y Parra (2007) para tratar el problema del Agente Viajero, por representar mejor el problema tal que el orden en que son visitados los contenedores soterrados importa y facilita que al momento de decodificar el cromosoma (pasar a su fenotipo) este tenga un valor que represente a una solución factible.

### **Paso 2. Un Método para la Creación de la Población Inicial**

Coronel, Hernández, Jiménez y Mora (2007) mostraron varios generadores de números pseudoaleatorios, de los cuales para la presente investigación se usó un generador congruencial mixto, el cual presenta la siguiente estructura:

$$X_n = (a X_{n-1} + b) \bmod m \quad , \text{donde: } a = 25214903917; b = 11; m = 2^{48};$$

Se verifica el corolario: al usar un valor de  $m=2^k \geq 4$  el generador congruencial tendrá periodo completo si y solo si “b” es impar y “ $1 = a \pmod{4}$ ”. Donde “k” es un entero positivo lo suficientemente grande para hacer que se genere una sucesión de números aleatorios con un periodo de tamaño “m” (para este caso  $k=48$ ,  $b=11$ ,  $a= 25214903917$ ).

Por lo tanto, el tamaño del periodo es completo, es decir igual al valor del módulo y es reproducible. El generador produce la serie de números rápidamente y sin un consumo excesivo de memoria en la computadora.

Se realizaron las pruebas estadísticas de uniformidad e independencia para validar el uso del generador congruencial propuesto. Se usó como referencia a Learmonth y Lewis(1973), quienes optaron por tomar 100 sucesiones de 65536 números pseudoaleatorios, representando poco más de 6.5 millones de números pseudoaleatorios; para la presente investigación se decidió tomar una sucesión de 2 millones de números pseudoaleatorios provenientes de un generador congruencial de periodo  $2^{48}$ .

a) **Prueba de los Promedios.** Se plantea una prueba de medias:

$$H_0: \mu = \frac{1}{2} \quad (\text{media poblacional estadísticamente igual a } \frac{1}{2})$$

$$H_1: \mu \neq \frac{1}{2} \quad (\text{media poblacional estadísticamente no es igual a } \frac{1}{2})$$

Donde la media muestral es: 0.500267. Se hizo uso de Software Minitab 19 donde se obtuvo un p-value= 0.190 (para ver procedimiento ir a Anexo 42), por lo cual no se tiene suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

Por tanto, con un nivel de 95% de confianza la media poblacional es estadísticamente igual a  $\frac{1}{2}$ .



**La Prueba de Varianza.** Se plantea una prueba de varianzas con las siguientes hipótesis, donde la Varianza Poblacional Distribución Uniforme(0,1) es igual a  $(1-0)^2/12 = 1/12 = 0.0833333$

$$H_0: \sigma^2 = 0.0833333$$

$$H_1: \sigma^2 \neq 0.0833333$$

Donde la varianza muestral fue de 0.08329. Se hizo uso del software Minitab 19, el cual usa la Prueba de Bonett, (válida para poblaciones continuas), donde se obtuvo un p-value = 0.404 (ver Anexo 43), con lo cual no se tiene suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

Por tanto, con un nivel de confianza de 95% aceptamos que los números tienen una varianza poblacional estadísticamente igual a 0.0833333.

b) **Prueba de Bondad de Ajuste:** Para determinar a cuál distribución se ajustan mejor los datos estudiados, con base en el estadístico:

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

$H_0$ : La muestra proviene de una distribución Uniforme U (0,1)

$H_1$ : La muestra no proviene de una distribución Uniforme U (0,1)

Sucasaire (2014) por medio de la herramienta Input Analyzer, realizó la prueba Chi-Cuadrado para estudiar la Bondad de Ajuste. Por lo cual, para realizar dicha prueba se importaron los 2 millones de números pseudoaleatorios al Input Analyzer, almacenados en un archivo \*.txt", donde se obtuvo el Histograma, posteriormente se realizó la Prueba Chi-Cuadrado, donde se obtuvo un p-value > 0.75 (ver Anexo 44), con lo cual no se tiene suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

Por tanto, con un nivel de confianza de 95% aceptamos la hipótesis nula: Los datos provienen de una distribución Uniforme  $U(0, 1)$ .

### Tabla 6

*Error Cuadrático Medio según Distribución Evaluada para Números Pseudoaleatorios Generados por el Método Congruencial*

Uniforme	Beta	Normal	Weibull	Gamma	Erlang	Exponencial
3.89E-07	0.0003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.0063

De la Tabla 6, se observa que la Distribución Uniforme (0,1) es la que presenta un menor error cuadrático medio. (para procedimiento de cómo se obtuvo la tabla Ver Anexo 44)

- c) **Prueba de Distancias o Huecos.** Se procede a detallar las hipótesis nula y alternativa tal como se indica a continuación:

$H_0$ : Los números se distribuyen de manera aleatoria

$H_1$ : Los números no se distribuyen de manera aleatoria

Se realizaron los cálculos para la realización de la prueba  $\chi^2$ , de tal manera que dichos cálculos se resumen en la Tabla 7 (para mayor detalle ver Anexo 45).

**Tabla 7**

*Resumen de Cálculos para el Estadístico de Prueba  $\chi^2_{calculado}$*

N.º Huecos	F. Observada (i)	F. Esperada (i)	$\chi^2 = (FE_{(i)} - FO_{(i)})^2 / FE_{(i)}$
0	501257	500423.5	1.388269
1	250108	250211.75	0.04302
2	124557	125105.875	2.40807
3	62364	62552.9375	0.570675
4	31304	31276.46875	0.024235
5	15654	15638.23438	0.015894
>= 6	15603	15638.23438	0.079386
	1000847	1000847	4.529548 = $\chi^2_{calculada}$

Donde, el " $\chi^2_{(1-\alpha, m-1)}$ " o " $\chi^2_{Tabla}$ " para un valor  $\alpha = 0.05$ ,  $m = 7$  tenemos  $\chi^2_{(0.95, 6)} = 12.59159$ .

Como  $\chi^2_{calculada} = 4.529548 < 12.59159 = \chi^2_{Tabla}$ , no se tiene suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula.

Por tanto, con un nivel de confianza de 95% aceptamos la hipótesis nula donde la serie de datos son se distribuyen de manera aleatoria.

d) **Prueba de Autocorrelación:** Se procede a detallar las hipótesis nula y alternativa tal como se indica a continuación:

$H_0$ : Los datos se distribuyen de manera aleatoria  
( $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \dots = \rho_k = 0$ )

$H_1$ : Los datos no se distribuyen de manera aleatoria (al menos un  $\rho_k$  es diferente de cero)

Por medio del software Minitab (para el procedimiento ver Anexo 46) se obtuvo los valores de LBQ para distintos tamaños de desfases para luego ser comparados con el estadístico teórico, calculado en Excel (Ver Anexo 46), según sus grados de libertad.

El estadístico LBQ para Autocorrelación, el cual según el Manual de Soporte Técnico de Minitab 18 (s.f.) nos ayuda a calcular todas las autocorrelaciones hasta un desfase igual a  $\sqrt{n} + 45$ , para tamaño de muestra mayor a 240 sugerido por Minitab, las cuales, si no superan un cierto valor crítico específico, se concluirá que las autocorrelaciones son iguales a cero, por lo cual, se cumpliría la Prueba de Autocorrelaciones.

En la Tabla 8, se observa que el estadístico:

$$Q(i) \text{ calculado} < X^2_{(1-\alpha, i)}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, 1459.$$

Por tanto, con un nivel de confianza de 95% se acepta la hipótesis de la independencia de los números.

**Tabla 8***Resultados Prueba de Autocorrelaciones*

Desfase (k)	Q de Ljung-Box Calculado (Minitab)	Estadístico Q teórico	Desfase (k)	Q de Ljung- Box Calculado (Minitab)	Estadístico Q teórico
1	2.098773853	3.841458821	...	...	...
2	3.826746267	5.991464547	1435	1447.302201	1524.241019
3	5.125123695	7.814727903	1436	1449.168607	1525.271722
4	5.493085714	9.487729037	1437	1449.229462	1526.302415
5	6.325724273	11.07049769	1438	1449.463995	1527.333097
6	7.343400869	12.59158724	1439	1449.721195	1528.363768
7	9.227588233	14.06714045	1440	1450.423587	1529.394428
8	11.89052875	15.50731306	1441	1450.544123	1530.425078
9	11.91936015	16.9189776	1442	1450.996189	1531.455718
10	12.13361352	18.30703805	1443	1451.527734	1532.486346
11	12.71271246	19.67513757	1444	1451.530165	1533.516964
12	12.74858193	21.02606982	1445	1451.607376	1534.547571
13	14.36446041	22.36203249	1446	1451.842461	1535.578168
14	14.41990094	23.6847913	1447	1454.181023	1536.608754
15	15.16110796	24.99579014	1448	1454.498167	1537.63933
16	15.22505604	26.2962276	1449	1455.569379	1538.669895
17	17.14576724	27.58711164	1450	1457.957626	1539.70045
18	17.82254522	28.86929943	1451	1458.350271	1540.730994
19	20.25393108	30.14352721	1452	1458.984001	1541.761527
20	20.42683091	31.41043284	1453	1461.856215	1542.79205
21	20.53274319	32.67057334	1454	1462.55795	1543.822562
22	20.73632632	33.92443847	1455	1463.214281	1544.853064
23	21.35781533	35.17246163	1456	1463.959533	1545.883556
24	22.57305359	36.4150285	1457	1464.98731	1546.914037
25	23.04158968	37.65248413	1458	1465.379883	1547.944507
...	...	...	1459	1466.113127	1548.974967

Nota. Elaborado por medio de los Software Minitab y Excel

e) **Prueba de Póker:** Se plantean las hipótesis respectivas, tal como se detalla a continuación:

$H_0$ : Los dígitos están ordenados al azar

$H_1$ : Los dígitos no están ordenados al azar

Se construyó la tabla respectiva para realizar el cálculo del estadístico respectivo para la prueba de hipótesis (ver Anexo 47).

**Tabla 9**

*Prueba de Póker para Ordenamiento al Azar de Dígitos*

<b>Categorías</b>	<b>O<sub>(i)</sub></b>	<b>Probabilidad</b>	<b>E<sub>(i)</sub></b>	<b>(O<sub>(i)</sub>-E<sub>(i)</sub>)<sup>2</sup> /E<sub>i</sub></b>
Todos Diferentes (TD)	604859	0.3024	604800	0.0057556
1 Par (1P)	1008765	0.504	1008000	0.580580
2 pares (2P)	216047	0.108	216000	0.0102269
1 tercia y 1 Par (TP)	18025	0.009	18000	0.034722
1 tercia (T)	143190	0.072	144000	4.55625
Póker (P)	8936	0.0045	9000	0.455111
Quintilla (Q)	178	0.0001	200	2.42
TOTAL 2000000			$\chi_o^2 =$	8.0626462

Según la Tabla 9, como se cumple que el estadístico calculado es menor al estadístico teórico:  $8.06 = \chi_o^2 < \chi^2_{(1-0.05, 6)} = 12.592$ , entonces, no se tiene suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por tanto, con un nivel de confianza de 95% se acepta la hipótesis que los dígitos están ordenados al azar.

f) **Prueba de Corridas:** para una muestra de 2000000 de valores

$H_0$ : El orden de los datos es aleatorio

$H_1$ : El orden de los datos no es aleatorio

Para calcular el p-value se hizo uso del software Minitab 19, obteniendo un p-value= 0.483 (para el procedimiento ver Anexo 48), con lo cual no se tiene suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por tanto, aceptamos que el orden de los datos es aleatorio.

Al cumplir las 6 pruebas indicadas, podemos concluir que nuestro generador congruencial genera números pseudoaleatorios que cumplen con las pruebas de aleatoriedad e independencia propuestas para la presente investigación.

### **Paso 3. Función Aptitud Propuesta**

La función aptitud, es la encargada de medir la calidad de cada individuo con respecto al resto de su población. Para nuestro caso, al trabajar con minimizar distancias buscamos una función que:

- A mayor distancia menor sea su calidad como individuo (menor valor de función aptitud del individuo).
- A menor distancia mayor sea su calidad como individuo (mayor valor de la función aptitud del individuo).

Por lo tanto, la forma de la función aptitud debe ser una Función Decreciente, donde su intervalo  $I = ]0; \infty[$ , para lo cual se plantearon algunas funciones descritas en el Anexo 49, por medio de las cuales se generaron distintas sucesiones de soluciones para analizar.

Con base en ensayo y error sobre la ejecución del algoritmo, se probaron las fórmulas definidas en el Anexo 49, con base en el criterio utilizado por Pérez (2011), que consiste en evaluar diferencia de medias (Por medio del Método de Duncan) y elegir el método que genere una media estadísticamente menor al resto, se realizó el análisis estadístico por medio del cual se concluyó en seleccionar las fórmulas Tipo 2 (ver Anexo 49 y Anexo 50).

Dentro del grupo de funciones aptitud disponibles (ver Anexo 51), se eligió la función  $1 / (D_i^2)$ , por ser una de las más sencillas.

$$\text{Función Fitness}[x_i] = F(x_i) = 1/(d_i)^2,$$

Donde:  $d_i$ : distancia asociada al individuo "i",

#### **Paso 4. Definición de Operadores Utilizados**

a. **Selección para el Torneo.** Con base en el generador congruencial de pseudo números aleatorios, se produjo una secuencia de números entre 0 y 1, los cuales son multiplicados por el tamaño de la población para así generar la posición del individuo seleccionado para ingresar al torneo.

Para la determinación de un tamaño de torneo adecuado se realizó 30 ejecuciones (40 generaciones por ejecución) para cada tamaño de torneo (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11), generando 300 soluciones locales por cada sector analizado, dicho proceso se realizó para tamaños de Población de 2000 y 2500 respectivamente, los resultados son mostrados en la Tabla 10. De los cuales se estableció que una Población de 2000: para G-01, G-03 y G-04 un tamaño de torneo de 6, para G-02, G-05 un tamaño de torneo de 10 y para G-06 un tamaño de torneo de 8.



**Tabla 10**

*Tamaño de Torneo para encontrar al Superindividuo según Sector.*

Sector	N	Mejor Individuo	Popsiz	(Tamaño de Torneo, Ejecución, Generación)
G-01	300	<b>42051*</b>	2000	(6, 13, 19)
G-02	300	38419	2000	(10, 9, 13)
G-03	300	<b>41223*</b>	2000	(6, 5, 21)
G-04	300	39516	2000	(2, 2, 30); (3, 12, 30); (4, 3, 24); (6, 18, 16)
G-05	300	<b>40106*</b>	2000	(10, 17, 7)
G-06	300	41741	2000	(8, 11, 20)
G-01	300	42051*	2500	(6, 13, 17)
G-02	300	<b>38315*</b>	2500	(6, 21, 14); (8, 21, 12); (10, 8, 13)
G-03	300	41777	2500	(6, 5, 16)
G-04	300	<b>39516*</b>	2500	(5, 14, 16); (6, 25, 19); (7, 19, 16); (8, 29, 14)
G-05	300	<b>40068*</b>	2500	(10, 14, 9)
G-06	300	<b>41479*</b>	2500	(8, 21, 21)

Nota. Se descarto el método de la Ruleta por necesitar una mayor cantidad de generaciones para presentar resultados equiparables al Torneo.

(\*) representa los mejores valores determinados por el Algoritmo según Popsiz

**b. Tipo de Operador de Cruce.** Se usó el cruce de alternancia de posiciones, el cual toma un gen de cada padre en orden alterno.

**c. Tipo de Operador Mutación.** El método de mutación consistió en el intercambio de 9 pares de genes cuyas posiciones fueron previamente definidas, con el objetivo de tener una mutación que genere diversidad genética y explore nuevos espacios del conjunto solución.

## Paso 5. Determinación de Parámetros

a. **Tamaño de la Población Inicial (Popsiz).** Para la presente investigación se denominó Popsiz para fines de la ejecución del algoritmo. Para determinar un valor adecuado de dicho parámetro se realizaron 30 ejecuciones para distintos valores de Popsiz (Ver Tabla 11), siendo un primer criterio de selección la calidad de la solución brindada.

**Tabla 11**

*Comportamiento de la Media de Distancia Recorrida según Factor*

*Popsiz para Sector G-01*

Factor	N	Media	Mejor Solución	Desviación Estándar
100	30	55304.03	50662	2337.82
500	30	46798.3	44167	1401.16
1000	30	45242.8	42824	1066.80
1500	30	44560.13	42824	936.39
2000	30	43761.33	42647	563.27
2500	30	43701.33	42554	760.35
3000	30	43351.23	42554	379.05
4000	30	43287.27	42554	403.43
5000	30	43128.43	42647	325.44
6000	30	43124.4	42647	359.80
Total	300			

Nota. Para las ejecuciones se usó un tamaño de torneo igual a 6, número de ejecuciones 30 y número de generaciones 40.

Se realizaron pruebas estadísticas (ver Anexo 52 y 53), se concluyó utilizar tamaños de Popsiz de 2000 o 3000. Los tamaños 2500 y 5000, quedaron pendientes de análisis por no cumplir el criterio de normalidad y pasaron a ser analizados en la Tabla 12.

Como Segundo Criterio para elegir un *Tamaño de Población* adecuado para la búsqueda de buenas soluciones, se evaluó el tiempo necesario para la ejecución de nuestro algoritmo genético.

**Tabla 12**

*Análisis de Popsiz según el Tiempo de Ejecución*

Factor	N	Media (en metros)	N <sup>o</sup> Ejecuciones (A)	N <sup>o</sup> Generaci- ones	Tiempo Promedio por Ejecución (B)	Tiempo Total = (A) x (B)
2000	50	42450	30	40	0.546 minutos	16.38 minutos
2500	50	42373	30	40	0.932 minutos	27.96 minutos
3000	50	42372	30	40	1.967 minutos	58.99 minutos
5000	50	42228	30	40	2.730 minutos	81.89 minutos

Nota. Dicho tiempo promedio (expresado en minutos) puede variar según característica de computador, por lo cual se recomienda un análisis de tiempo en función de número de operaciones en futuras investigaciones.

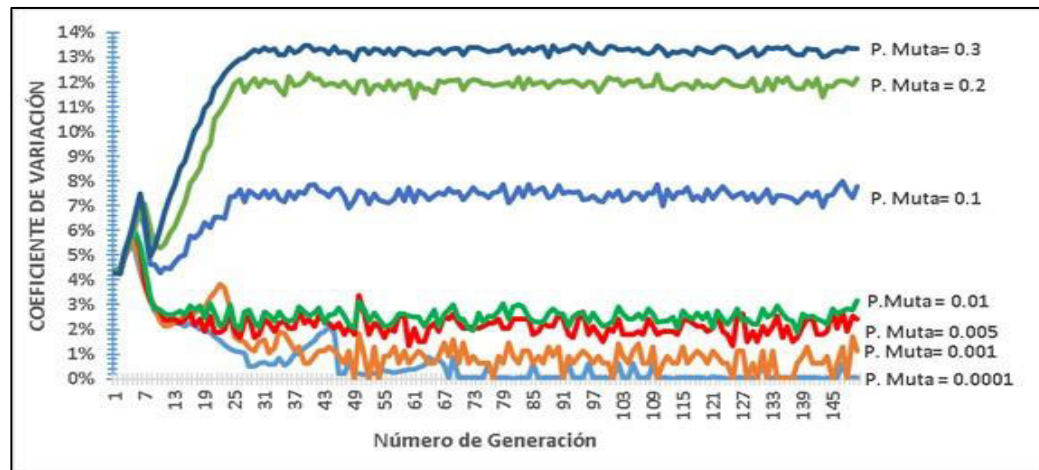
De la Tabla 12, el tiempo necesario para ejecutar 30 veces el algoritmo genético (número de ejecuciones) y así obtener 30 óptimos locales es excesivamente alto para Popsiz de 3000 y 5000, por lo tanto, no se exploró las soluciones para los distintos valores de torneo para un Popsiz de 3000 o 5000, y por tanto, la Tabla 10 muestra los mejores valores para los valores de Popsiz seleccionados de 2000 y 2500. Para mayor detalle de dichos valores ver Anexos 54 y 55.

b. **Probabilidad de Cruce ( $P_c$ )**. Si bien la probabilidad de cruce indica la frecuencia en la cual dos cromosomas aportarán sus genes a sus hijos, para tener una mayor diversidad dentro de los cromosomas de la siguiente generación se tomó un valor de 100%, es decir, los padres seleccionados heredarán sus características a sus descendientes.

c. **Probabilidad de Mutación ( $P_m$ )**. Para determinar el valor de la probabilidad de mutación se probaron distintos valores recomendados en la bibliografía para ver como estos afectaban el coeficiente de variación (nuestro indicador de convergencia de la solución)

**Figura 6**

*Evolución de Coeficiente de Variación según Valor de Prob. De Mutación*



Nota. Los datos de la gráfica se encuentran en el Anexo 41

Se debe elegir un valor de mutación que permita la convergencia del algoritmo, la cual consiste en que los individuos de la población final sean muy similares entre sí (López, 2009). Esto se estudió mediante el coeficiente de variación, el cual indica el grado de dispersión de los datos

con respecto a su media. Por tanto, debemos elegir un valor de probabilidad de mutación que permita la convergencia no prematura del coeficiente de variación, esto se debió a que si el coeficiente de variación converge prematuramente los individuos de la población serán muy similares, por lo que estaremos estancados en un óptimo local.

En la Figura 6, de los valores analizados, se observa que para una probabilidad de mutación de 0.001 el coeficiente de variación toma valores pequeños sin llegar a converger al valor "0", lo que nos indica la convergencia de la población. No se tomó el valor 0.0001 debido a que converge de manera prematura al valor 0, por tanto se tiene menos posibilidades de seguir explorando el espacio de soluciones factibles. Con respecto a valores como 0.1, 0.2, 0.3 se descartan por razón de que generan poblaciones más dispersas.

### **Paso 6. Criterio Elitista para la Siguiete Generación**

Se realizó un análisis en el cual se comparó dos criterios:

Criterio 1: "Todos los Hijos". Tomar a todos los hijos para ser parte de la población de la siguiente generación.

Criterio 2: "Elitismo". Consiste en construir una Macro Población de "2N" individuos con los "N" padres y "N" hijos, de los cuales seleccionamos un porcentaje de los "2N" individuos con mayor valor de adaptación para la nueva población de "N" individuos, la cual se usará en la siguiente generación.

Usando criterio de Pérez(2011) para medir eficiencia de distintos métodos: se cumple criterio de normalidad para elitismo 0.8, 0.9 y 1; por lo cual se pasó a realizar una prueba de análisis de varianza (ANOVA) donde se comprobó la igualdad de medias por el Método de Comparación en parejas de Tukey.

**Tabla 13**

*Comportamiento de la Media de Distancia según Criterio para Sector G-01*

<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
Criterio 1: Todos los Hijos	30	55058	A
Criterio 2: Elitista (para 0.8)	30	43851	B
Elitista (para 1)	30	43822.1	B
Elitista (para 0.9)	30	43761	B

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente. Elaborado por medio de Software Minitab.

De la Tabla 13, se concluye que el Criterio Elitista al crear una Macro Intermedia y ordenarla según su distancia asociada al cromosoma , de la cual extraer los nuevos individuos para la siguiente población ofrece mejores resultados al crear una mayor diversidad genética. Con este criterio evitamos que los individuos con mejor valor de aptitud se pierdan durante los procesos de cruce y mutación y así conservar sus genes.

Por lo cual, para la Ruta G-02 se recomienda tomar valores del parámetro elitismos de 0.8, 0.9 o 1. Se realizó un análisis similar para las Rutas G-01, G-03, G-04, G-05, G-06 determinando que el valor del parámetro elitismo permite encontrar las mejores soluciones para valores de 0.8, 0.9 y 1 (ver Anexo 56 y 57).

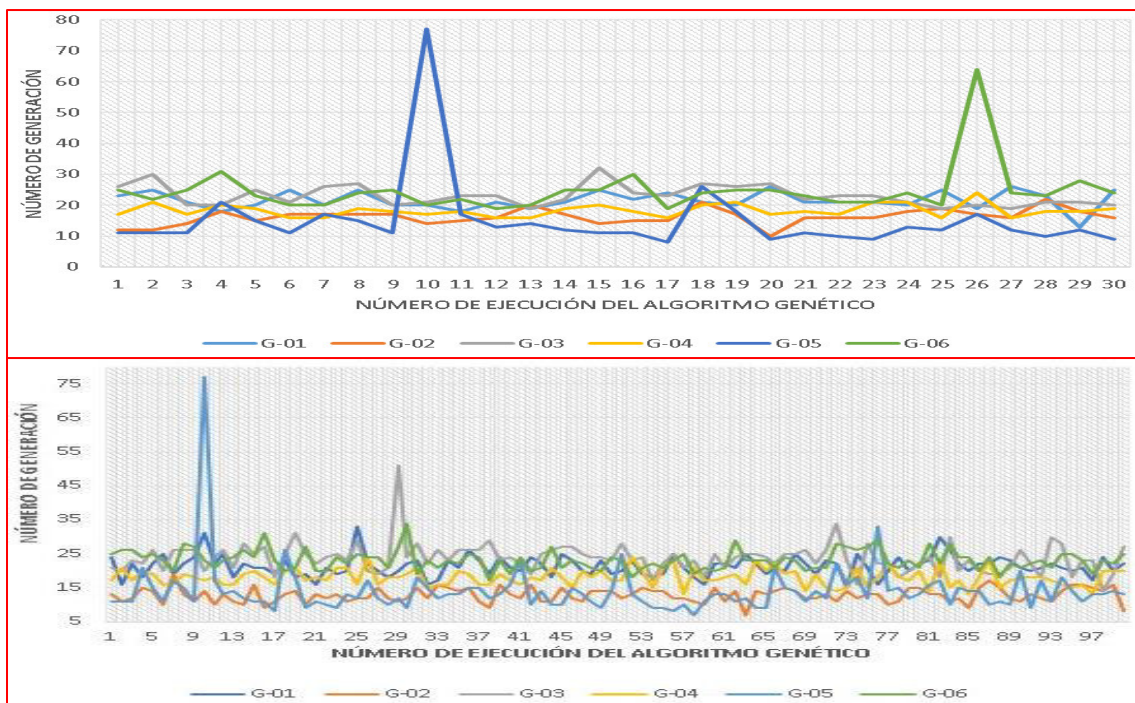
En la presente investigación se eligió un valor de Elitismo de 0.9 para la Población Intermedia, es decir, el 90% de 2N estarán ordenados de menor a mayor (creciente) y el 10% restante serán ordenados de mayor a menor (decreciente) según su distancia asociada al cromosoma. Posteriormente, de dicha población ordenada se eligen a los N mejores cromosomas (los que presenten menor distancia). Para mayor detalle de lo indicado y ver el efecto de los distintos valores del elitismo sobre la Población Intermedia revisar Anexo 65.

## Paso 7. Definición del Criterio de Parada del Algoritmo Genético

Para analizar el criterio de Parada se ejecutó el Algoritmo Genético con los siguiente valores asignados: Número de Generaciones = 100, para un Popsiz = 2000, P. Mutación = 0.001, Elitismo = 0.9; para un valor de Número de Ejecución de 30 y 100 respectivamente (ver Figura 7).

### Figura 7

*Comportamiento del Número de Generaciones para encontrar al Superindividuo para 30 y 100 Ejecuciones del Algoritmo Genético según Sector.*



Se obtuvo como conclusión que el superindividuo en general aparece antes de la generación 40, en los pocos casos que excede dicho número de generación la solución no resulta mejor a los otros casos. Por tanto, Número de Generaciones =40.

Con respecto al número de Ejecuciones a realizar, se definió un tamaño de 30 (ver Anexo 58). De este modo obtener 30 superindividuos para elegir al mejor de ellos.

### **3.14. Procedimiento para Construcción del Grafo**

**Paso 1:** La ubicación de los 115 contenedores soterrados de carga vertical se solicitó de manera escrita a la Subgerencia de Limpieza Pública de Municipalidad distrital de Bellavista gracias a la Ley No 27806: Ley de transparencia y acceso a la información pública.

**Paso 2:** Por medio de dicho documento presentado en junio del año 2021, se solicitó la siguiente información:

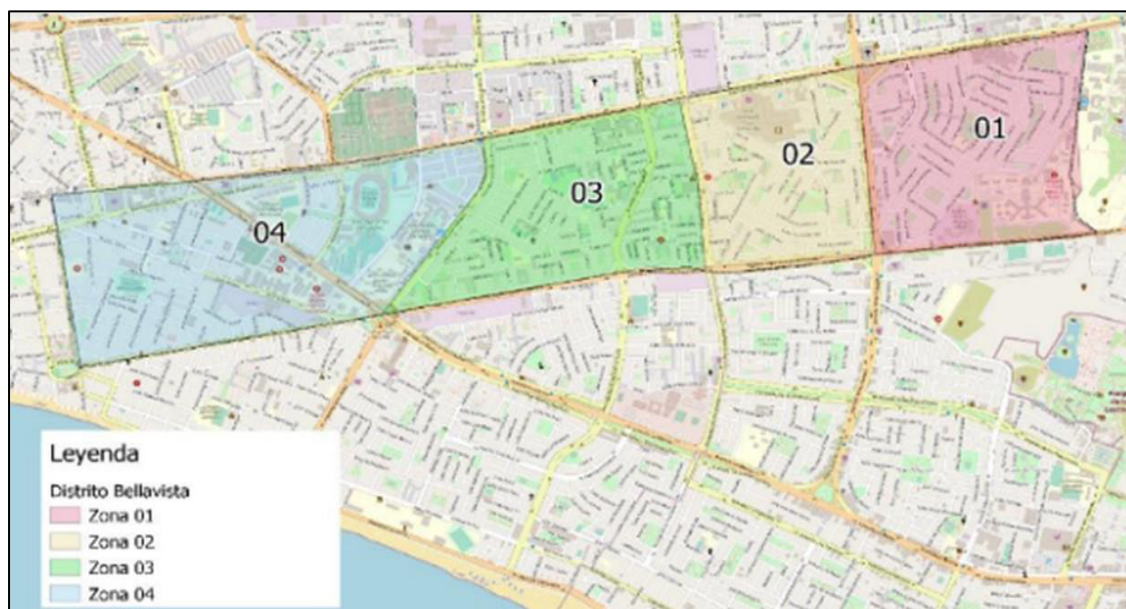
- a. Cantidad de puntos y localización de contenedores soterrados en Bellavista
- b. Capacidad de almacenaje de los contenedores soterrados
- c. Número de camiones usados para recorrer los puntos donde están ubicados los contenedores soterrados, y capacidad de estos.
- d. Actuales rutas usadas para la recolección de residuos sólidos en los contenedores de carga vertical.
- e. Costo asociado al combustible consumido por realizar el recojo
- f. Frecuencia del servicio de recolección

**Paso 3:** Se procedió a identificar las cuatro zonas del distrito según su área de influencia, tal como se muestra en la Figura 8.



**Figura 8**

*Clasificación de Zonas de Bellavista según Ordenamiento Municipal*



Fuente: Estado Situacional de las Rutas realizadas por los camiones grúas en el distrito de Bellavista – Subgerencia de parques y jardines de la Municipalidad de Bellavista

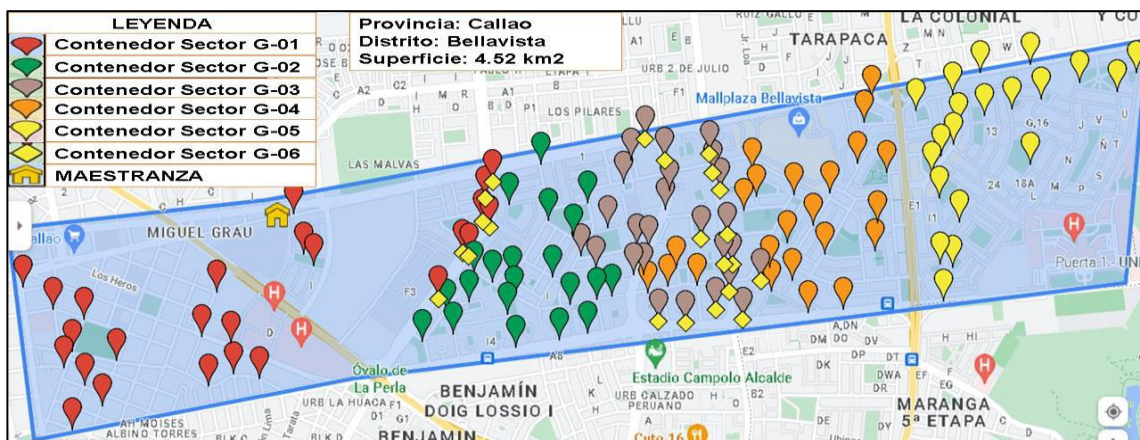
**Paso 4:** La información brindada por la Municipalidad con respecto a la ubicación de los 115 contenedores soterrados de carga vertical se validó visitando las ubicaciones referenciadas.

**Paso 5:** En un mapa de GoogleMaps se procedió a identificar por medio de un marcador la ubicación del taller de Maestranza, los contenedores soterrados de carga vertical operativos según la zona a la que pertenecen y el Relleno Sanitario.

**Paso 6:** Los marcadores se pintaron de un color y una forma en particular para agruparlos según su turno de visita.

**Figura 9**

*Ubicación de Contenedores Soterrados según Sector - Distrito de Bellavista*



Fuente. GoogleMaps

**Paso 7:** Se procedió a enumerar los marcadores correspondientes a un mismo turno y vehículo recolector, asignando el “nodo 0” al taller de mastranza y de 1 en adelante para cada contenedor soterrado correspondiente al turno y vehículo.

**Figura 10**

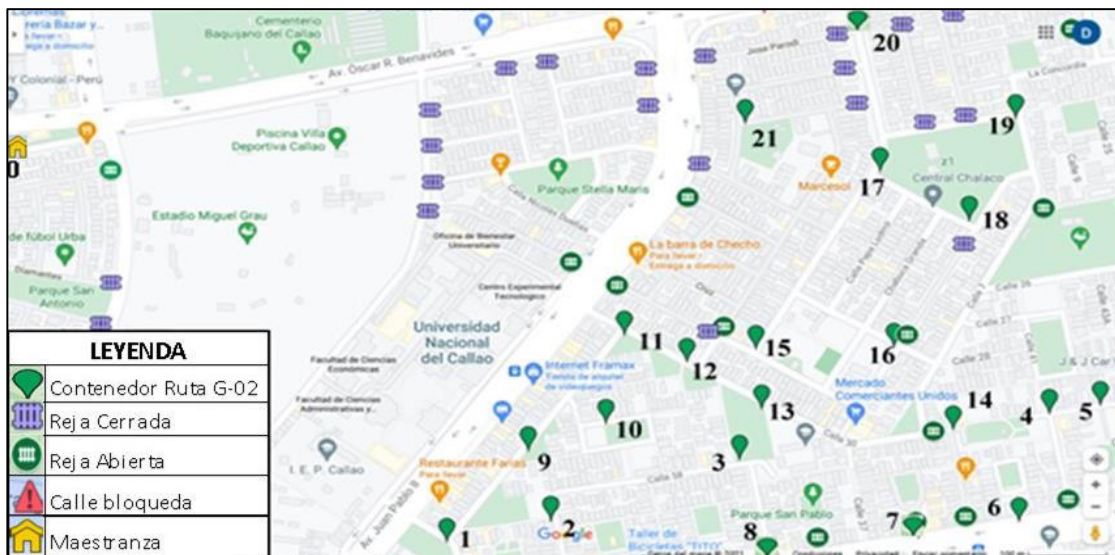
*Numeración de Contenedores Soterrados del Sector G-01*



Fuente. GoogleMaps

**Figura 11**

*Numeración de Contenedores Soterrados del Sector G-02*



Fuente. GoogleMaps

**Figura 12**

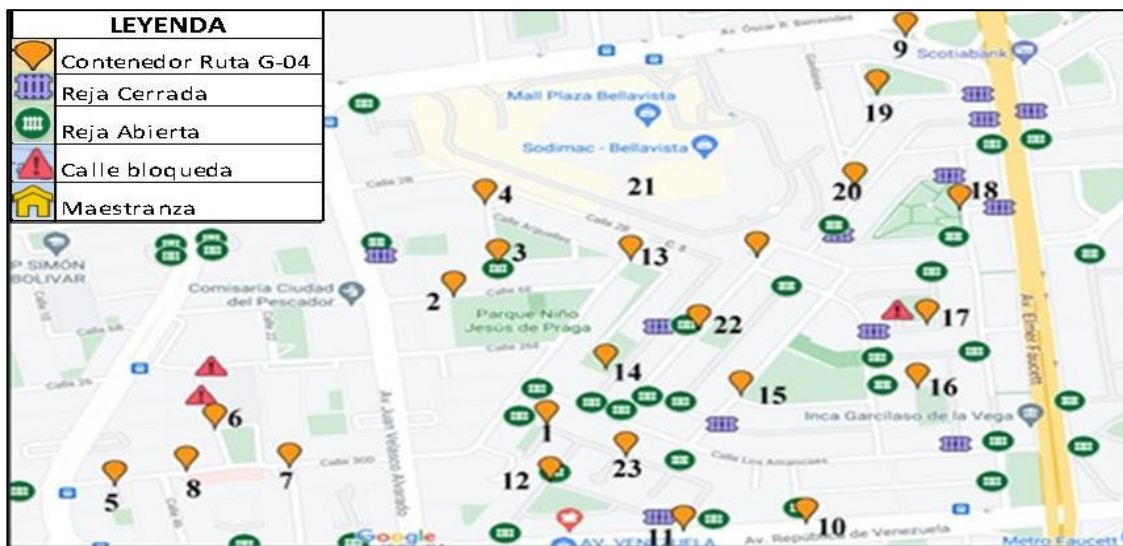
*Numeración de Contenedores Soterrados del Sector G-03*



Fuente: GoogleMaps

**Figura 13**

*Numeración de Contenedores Soterrados del Sector G-04*



Fuente. GoogleMaps

**Figura 14**

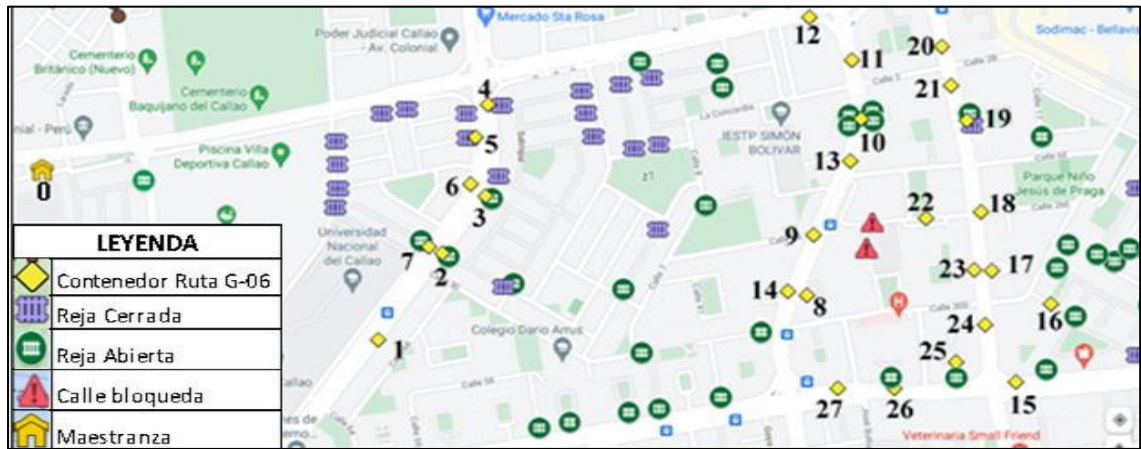
*Numeración de Contenedores Soterrados del Sector G-05*



Fuente. GoogleMaps

**Figura 15**

*Numeración de Contenedores Soterrados del Sector G-06*

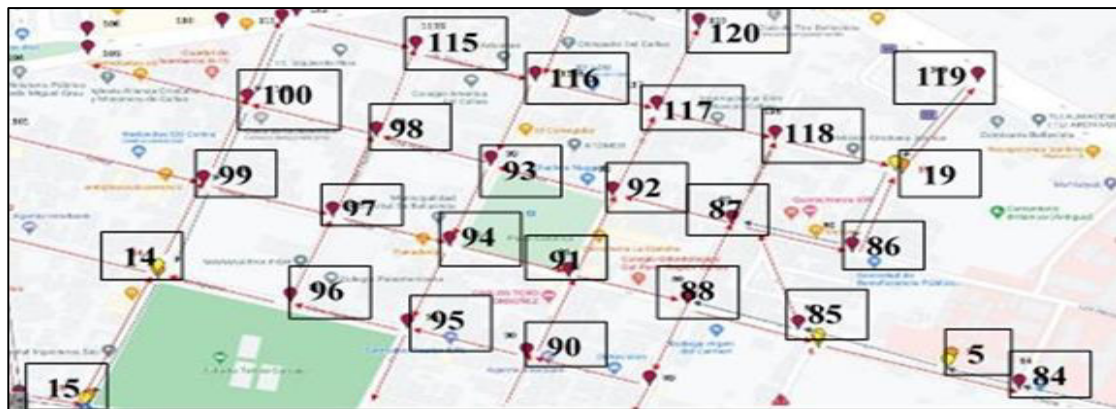


Fuente. GoogleMaps

**Paso 8:** Según Sector-G0(Numeral) se procedió a la asignación de una numeración correlativa a los contenedores soterrados, del paso 7, a cada intersección de calles del área de influencia analizada, omitiendo aquellas donde el camión recolector no podría ir por encontrarse con una calle cerrada o un obstáculo que impida el libre tránsito.

**Figura 16**

*Ejemplo de Etiquetado de Intersección de Calles*



Fuente. GoogleMaps

**Paso 9:** Se procedió a calcular las distancias asociadas entre nodos adyacentes para los seis sectores respectivos, por medio de GoogleMaps.

**Figura 17**

*Ejemplo de Costos en Términos de Distancia entre Nodos Adyacentes*



Fuente. GoogleMaps.

**Paso 10:** Se retira el Mapa de Fondo para solo quedarse con la imagen del Grafo (Grafo Tipo 1) con la cual se trabajará. El resultado final de dicha construcción de grafos para cada Sector (G-01, G-02, G-03, G-04, G-05, G-06) puede visualizarse en los anexos 3, 4, 5, 6, 7 y 8.

### 3.15. Procedimiento para Ejecución del Algoritmo Genético

**Paso 1:** Una vez construido el Grafo Ponderado por cada asignación de contenedores soterrados, se procede a representar de forma matricial. El orden de la matriz será “ $n \times n$ ” donde “ $n$ ” es el número de nodos de cada Sector.

Para cada par de nodos donde exista un arco que los una (adyacentes) se procede a ingresar el peso respectivo en la matriz, en caso no exista dicho arco y solo exista un camino se procederá a ingresar el símbolo “∞” el cual representa un valor extremadamente alto en comparación con las otras entradas de la matriz.

**Figura 18**

*Matriz de Pesos del Grafo Ponderado Tipo 1*

	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
76	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
77	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
78	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
79	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
80	∞	120	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
81	167	∞	135	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
82	∞	136	∞	50	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
83	∞	∞	49	∞	159	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
84	∞	∞	∞	149	∞	188	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
85	∞	∞	∞	∞	∞	∞	194	142	93	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
86	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	100	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
87	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	101	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
88	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	100	∞	97	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
89	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	102	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
90	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	98	∞	∞	∞	102	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
91	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	100	∞	∞	∞	101	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
92	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	103	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
93	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	99	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
94	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	101	∞	∞	∞	102	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	

**Paso 2:** Se usó la matriz de la Figura 18 en formato “.xlsx” para que sus valores de entrada fuesen leídos por el algoritmo de Floyd-Warshall implementado en NetBeans con lenguaje de programación Java, obteniéndose:

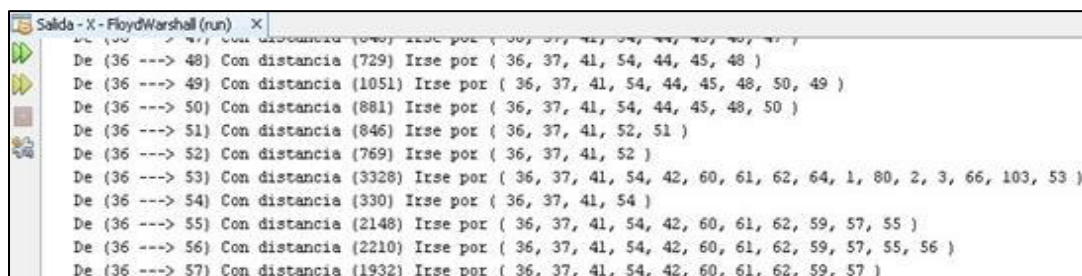
- **Listado de Caminos (para Grafo Tipo 1)**, por medio del cual se detalla el camino que se debe seguir entre cada par de nodos y la distancia mínima entre ellos (ver Figura 19). A partir del cual se construyeron los Grafos Tipo 2 (ver anexo 9, 10, 11, 12, 13 y 14), donde los nodos representan exclusivamente a los puntos críticos (contenedor soterrado, maestranza, relleno sanitario).

A partir del Listado de Caminos se construye

- **Matriz de Distancias Mínimas (para Grafo Tipo 2)**, tiene como entradas las distancias mínimas asociadas entre cada par de nodos de los puntos críticos de cada Sector (ver Figura 20).
- **Matriz de Listado de Caminos Mínimos (para Grafo Tipo 2)**, muestra como elementos a los caminos que se deben seguir para ir con la menor distancia entre cualquier par de puntos críticos del Sector analizado (Ver Figura 21).

**Figura 19**

*Listado de Caminos para Grafo Tipo 1*



**Figura 20**

*Matriz de Distancias Mínimas para Grafo Tipo 2*

Origen /Fin	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	A197
A0	0	65	3167	2898	1601	1382	1674	1799	1919	1583	1604	1717	1460	1389	1520	1317	1530	1713	1122	3769	3877	4047	2398	2637	2794	3689	16265
A1	64	0	3169	2900	1603	1384	1676	1801	1921	1585	1606	1719	1462	1391	1522	1319	1532	1715	1124	3771	3879	4049	2400	2639	2796	3691	16267
A2	527	463	0	868	1348	1498	1794	1714	1594	2048	2069	2182	1925	1854	1985	1782	1995	2178	1587	1954	2062	2232	1748	1987	2144	1874	14980
A3	905	841	864	0	902	1052	1348	1268	1148	1725	1746	1859	1602	1531	1662	1459	1672	1855	1112	2332	2440	2610	1302	1541	1698	2252	15358
A4	1105	1170	2298	2029	0	150	446	571	691	955	976	1164	907	761	892	689	902	1002	448	2900	3008	3178	1529	1768	1925	2820	16301
A5	972	1037	2148	1879	219	0	296	421	541	811	843	1031	774	628	759	556	758	856	315	2750	2858	3028	1379	1618	1775	2670	16168
A6	1267	1332	2337	2068	514	295	0	125	245	692	804	1245	1031	923	783	631	639	709	610	2939	3047	3217	1568	1807	1964	2859	16463
A7	1392	1457	2212	1943	639	420	125	0	120	817	929	1370	1156	1048	908	756	764	834	735	2814	2922	3092	1443	1682	1839	2734	16588
A8	1512	1577	2092	1823	759	540	245	120	0	915	1049	1490	1276	1168	1028	876	862	932	855	2694	2802	2972	1323	1562	1719	2614	16586
A9	1381	1446	2883	2614	998	779	1071	1196	1316	0	146	673	479	386	231	245	159	342	978	3485	3593	3763	2114	2353	2510	3405	16195
A10	1341	1406	2976	2707	1048	829	1121	1246	1366	146	0	527	333	240	85	295	305	485	1028	3578	3686	3856	2207	2446	2603	3498	16049
A11	1264	1329	2986	2717	1057	838	1130	1255	1375	741	595	0	263	436	511	721	900	1080	996	3588	3696	3866	2217	2456	2613	3508	15768
A12	1504	1569	3140	2871	1211	992	1284	1409	1529	478	332	257	0	403	248	458	637	817	1191	3742	3850	4020	2371	2610	2767	3662	16025
A13	1101	1166	2780	2511	851	632	924	1049	1169	385	239	403	146	0	155	365	544	724	831	3382	3490	3660	2011	2250	2407	3302	15809
A14	1256	1321	2892	2623	963	744	1036	1161	1281	230	84	462	248	155	0	210	389	569	943	3494	3602	3772	2123	2362	2519	3414	15964
A15	1136	1201	2682	2413	753	534	826	951	1071	266	287	665	451	358	203	0	213	396	733	3284	3392	3562	1913	2152	2309	3204	16167
A16	1637	1702	2724	2455	1254	1035	1327	1452	1572	256	402	929	735	642	487	501	0	183	1234	3326	3434	3604	1955	2194	2351	3246	16451
A17	1611	1676	2910	2641	1228	1009	1301	1426	1546	230	376	822	709	616	461	475	389	0	1208	3512	3620	3790	2141	2380	2537	3432	16425
A18	1009	1074	2291	2022	1030	811	1103	1228	1348	1012	1033	1221	964	818	949	746	959	1142	0	2893	3001	3171	1522	1761	1918	2813	16206
A19	2090	2026	2049	1780	1661	1811	1757	1632	1512	2322	2468	2825	2568	2422	2520	2350	2269	2339	2109	0	108	278	1666	412	259	1154	16294
A20	1982	1918	1941	1672	1553	1703	1649	1524	1404	2214	2360	2717	2460	2314	2412	2242	2161	2231	2001	1126	0	170	1558	304	151	1046	16186
A21	1812	1748	1771	1502	1383	1533	1479	1354	1234	2044	2190	2547	2290	2144	2242	2072	1991	2061	1831	1266	1374	0	1388	134	291	1186	16265
A22	3461	3397	3420	3151	3032	3182	3128	3003	2883	3693	3839	4196	3939	3793	3891	3721	3640	3710	3480	1371	1479	1649	0	239	396	1291	16431
A23	3222	3158	3181	2912	2793	2943	2889	2764	2644	3454	3600	3957	3700	3554	3652	3482	3401	3471	3241	1132	1240	1410	2798	0	157	1052	16192
A24	3065	3001	3024	2755	2636	2786	2732	2607	2487	3297	3443	3800	3543	3397	3495	3325	3244	3314	3084	975	1083	1253	2641	1387	0	895	16035
A25	2170	2106	2129	1860	1741	1891	1837	1712	1592	2402	2548	2905	2648	2502	2600	2430	2349	2419	2189	80	188	358	1746	492	339	0	16374
A197	14777	14713	14854	15236	15716	15866	16162	16082	15962	16032	15886	15811	15954	15727	15802	16012	16191	16371	15837	15667	15775	15945	16116	16079	15926	15587	0





**Figura 22**

*Resultados de la Ejecución del Algoritmo Genético en NetBeans*

```

Generar Poblacion
GENERACION NUMERO 34
El menor recorrido real se hace con 47091
con la ruta asociada
1 2 3 4 5 19 7 9 8 16 14 12 13 15 11 10 17 18 6
Generar Poblacion
GENERACION NUMERO 35
El menor recorrido real se hace con 47066
con la ruta asociada
1 2 3 4 5 19 7 9 8 16 14 13 12 15 11 10 17 18 6
Generar Poblacion
    
```

**Figura 23**

*Resultados de la Ejecución del Algoritmo Genético Exportados a Excel (\*.xlsx)*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
1	Generación	Minimo	Des. Stand	Media			El menor recorrido se realizó en la generación 23 con una distancia asociada de: 15181 metros																										
2	1	29217	4049.9639	43761.0			0	4	1	2	19	5	7	8	9	11	14	10	17	18	15	16	12	13	6	3	23	24	25	20	21	22	26
3	2	21931	3837.6750	41379.0																													
4	3	21931	4273.8197	39969.0			Popsize		#Generaci		P.Mutació		#Nodos		SizeTorneo																		
5	4	21931	4785.9250	38799.0			2000	40	0.001	28.0	6																						
6	5	21931	4976.3039	37009.0					% Elitismo																								
7	6	20890	4902.9707	34661.0					0.9																								
8	7	20890	4345.3225	32007.0																													
9	8	19902	3201.0605	29663.0																													
10	9	17702	2832.2700	28215.0																													
11	10	17702	2740.8190	27013.0			Time(segundos)		73																								
12	11	17702	2227.3619	25858.0			Time(minutos)		1																								
13	12	17702	2136.7082	25087.0																													
14	13	17702	1960.2811	24855.0																													
15	14	17702	1865.8489	23641.0																													
16	15	17600	1796.9491	23035.0																													
17	16	16892	1700.7922	22429.0																													
18	17	16892	1733.2237	21869.0																													
19	18	16166	1681.6233	21310.0																													
20	19	15509	1658.5120	20622.0																													
21	20	15408	1598.9656	19858.0																													
22	21	15408	1428.0956	19037.0																													
23	22	15408	1211.0835	18225.0																													

**Paso 6:** El resultado mostrado en la segunda fila de la Figura 23 muestra el orden para recorrer los nodos donde que representan las ubicaciones de los contenedores, empezando por el nodo 0 (maestranza) y terminando en el Relleno Sanitario y para conocer el camino entre nodos nos basamos en la Matriz de

Listado de Caminos; como resultado tendremos la concatenación de caminos que nos darán un camino final.

**Paso 7:** Se procede a elaborar los mapas respectivos indicando con flechas la consecución de arcos que se debe seguir para completar la visita a todos los nodos de contenedores soterrados asignados en cada turno, con la finalidad de entregarlos al personal encargado de la recolección. (ver ítem 3.16)

### 3.16. Procedimiento para la Construcción del Mapa con la Ruta

#### Determinada

A modo de ejemplo se usará la solución para la Ruta G-03:

**Paso 1:** Con base en el orden establecido por el archivo “.xlsx” para la Ruta G-03, se tiene el siguiente orden para visitar los contenedores soterrados:

**Tabla 14**

*Orden de Visita de Contenedores Soterrados y sus Respectivas Distancias*

<b>NODO</b>	0	26	25	24	6	5	7	8	4	3	23	22	1	2	9	11
<b>D (i, j)</b>		3363	175	208	484	54	137	207	362	101	295	125	146	273	371	196
<b>NODO</b>	10	18	12	17	16	15	13	14	19	20	21	208	0	<b>Total</b>		
<b>D (i, j)</b>	183	312	119	587	527	292	292	125	226	184	121	16946	14812	<b>41223</b>		

Donde:

- La fila “NODO” indica el orden de visita de los contenedores soterrados, iniciándose el recorrido en el nodo “0” (Maestranza).

- “D(i, j)” representa la distancia para ir desde el nodo “i” al nodo “j”. Por ejemplo, desde el nodo “0” al nodo “26” se puede ir con una distancia de 3363 metros, y de manera análoga del nodo “5” al “7” con una distancia de 137 metros.

**Paso 2:** Donde del orden brindado (Tabla 14) se usa el Listado de Caminos (para Grafos Tipo 1), tal que podemos obtener los caminos entre cada par de puntos críticos (contenedores soterrados, maestranza, Relleno Sanitario).

### Figura 24

*Listado de Caminos para Nodos de Puntos Críticos - Ruta G-03*

DE	A	DISTANCIA	CAMINO
0	26	3363	0, 140, 141, 139, 145, 149, 150, 151, 33, 34, 35, 122, 121, 118, 117, 55, 114, 107, 108, 109, 110, 96, 95, 26
26	25	175	26, 95, 25
25	24	208	25, 94, 24
24	6	484	24, 94, 25, 6
6	5	54	6, 5
5	7	137	5, 7
7	8	207	7, 67, 66, 8
8	4	362	8, 66, 64, 4
4	3	101	4, 3
3	23	295	3, 62, 83, 82, 23
23	22	125	23, 82, 22
22	1	146	22, 80, 1
1	2	273	1, 62, 2
2	9	371	2, 59, 57, 9
9	11	196	9, 10, 11
11	10	183	11, 54, 10
10	18	312	10, 53, 52, 50, 18
18	12	119	18, 50, 12
12	17	587	12, 77, 78, 50, 13, 41, 17
17	16	527	17, 42, 43, 136, 16
16	15	292	16, 41, 15
15	13	292	15, 50, 13
13	14	125	13, 14
14	19	226	14, 74, 73, 19
19	20	184	19, 73, 72, 20
20	21	121	20, 21
21	208	16946	21, 38, 120, 35, 32, 31, 29, 200, 166, 168, 175, 174, 193, 194, 196, 208
208	0	14812	208, 195, 194, 193, 177, 176, 183, 28, 27, 0

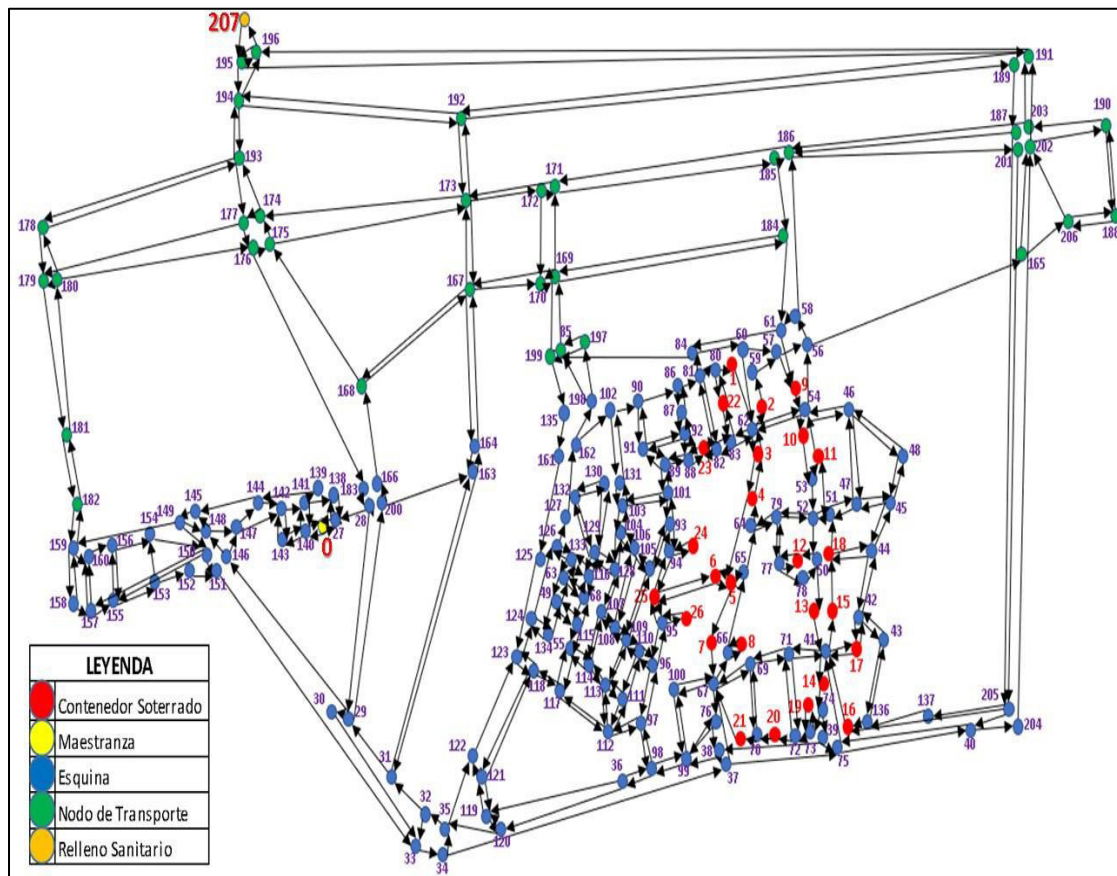
**Paso 3:** En el Grafo Tipo 1 para la Ruta G-03 (construido según ítem “3.14. Procedimiento para Construcción de Grafo, resultado final ver Figura 25 o Anexo 3), se procede a identificar los nodos que indica la columna “Camino” de la Figura

23, de tal modo que la unión de dichos caminos construye la Ruta para completar la recolección y traslado de los residuos sólidos ubicados en los contenedores soterrados de G03. Es decir, la ruta completa consiste en el siguiente recorrido:

**0**, 140, 141, 139, 145, 149, 150, 151, 33, 34, 35, 122, 121, 118, 117, 55, 114, 107, 108, 109, 110, 96, 95, **26**, 95, **25**, 94, **24**, 94, 25, **6**, **5**, **7**, 67, 66, **8**, 66, 64, **4**, **3**, 62, 83, 82, **23**, 82, **22**, 80, **1**, 62, **2**, 59, 57, **9**, 10, **11**, 54, **10**, 53, 52, **18**, 50, **12**, 77, 78, 50, 13, 41, **17**, 42, 43, 136, **16**, 41, **15**, 50, **13**, **14**, 74, 73, **19**, 73, 72, **20**, **21**, 38, 120, 35, 32, 31, 29, 200, 166, 168, 175, 174, 193, 194, 196, **208**, 195, 194, 193, 177, 176, 183, 28, 27, **0**.

**Figura 25**

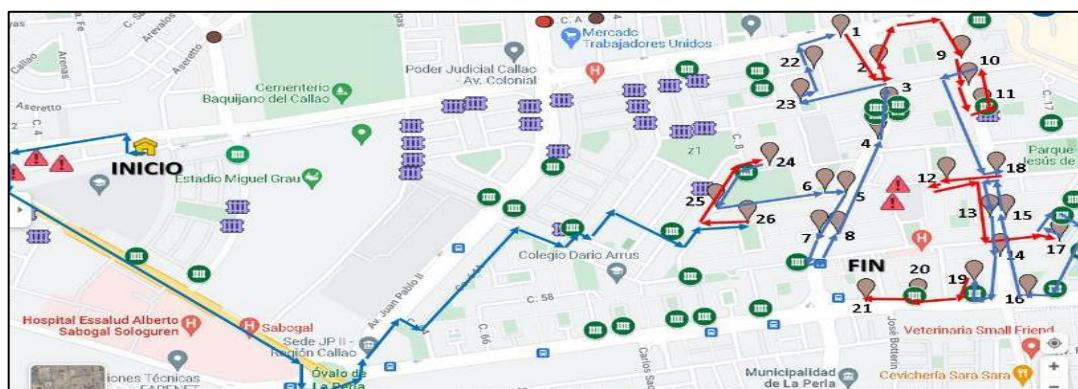
*Grafo Tipo 1 para Sector G-03*



**Paso 4:** Una vez identificado cada nodo se procede a eliminar las etiquetas de los nodos y se conservan las flechas que indican la consecución de nodos del Paso 3, agregando el Mapa del sector respectivo para identificar las esquinas donde se realizarán los respectivos giros del vehículo recolector.

**Figura 26**

*Ruta de Recolección para Sector G-03*



**Figura 27**

*Ruta de Transporte para Sector G-03*



**Paso 5:** Repetir el paso 1 al 4 con el resto de sectores (G-01, G-02, G-04, G-05, G-06). Para visualizar el resto de Rutas ver anexos del 28 al 39.

## **CAPÍTULO 4.**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Resultados**

##### **4.1.1. Análisis e Interpretación de Resultados**

Se ejecuto el algoritmo genético en la Matriz de Pesos del Grafo Tipo 2 de cada Sector (G-01, G-02, G-03, G-04, G-05 y G-6). Las rutas resultantes fueron denominaron como Ruta G-01, Ruta G-02, Ruta G-03, Ruta G-04, Ruta G-05 y Ruta G-06.

##### **A) Para los Contenedores del Sector G-01**

Al realizar el recorrido según la ruta establecida por la Subgerencia de Limpieza Publica, la cual fue definida por medio de una consultaría externa, la distancia de recorrido de la Ruta G-01 original fue de 44.344 km.

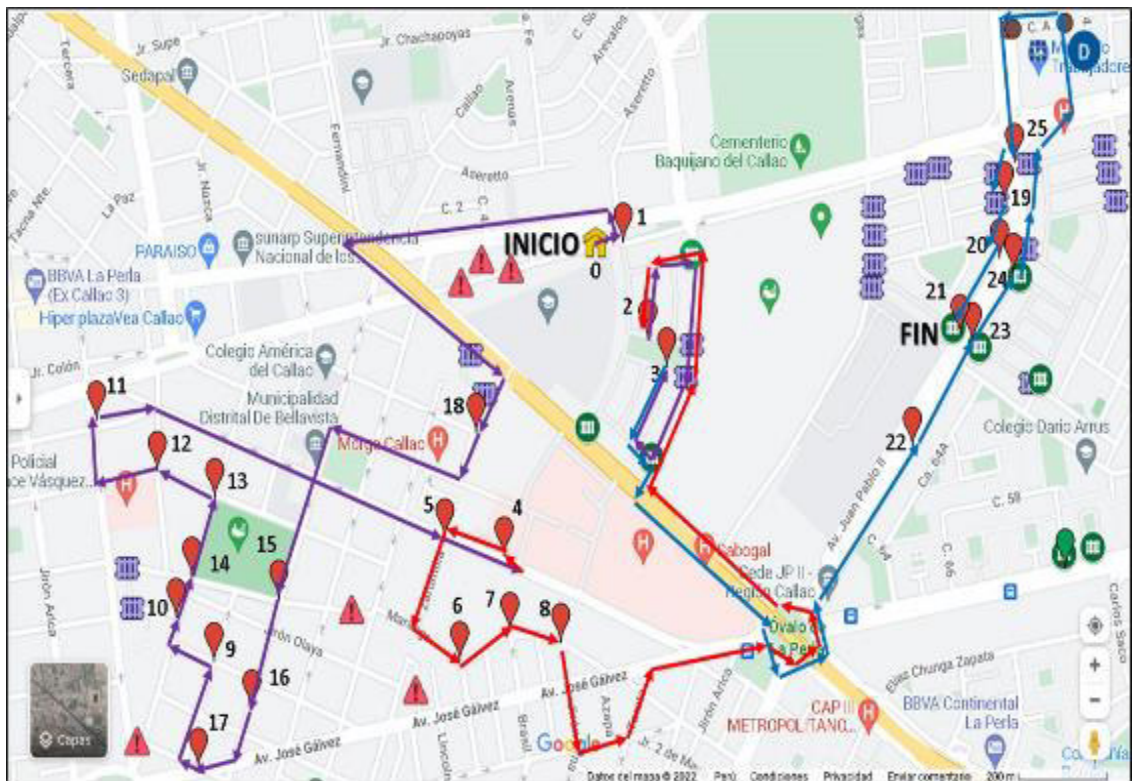
Por medio del algoritmo genético implementado en NetBeans, con lenguaje de programación Java, se determinó el siguiente orden: (Maestranza, 1, 18, 15, 16, 17, 9, 10, 14, 13, 12, 11, 5, 4, 6, 7, 8, 2, 3, 22, 23, 24, 25, 19, 20, 21, Relleno Sanitario, Maestranza), con un total de 42.051 km.

O su equivalente en términos de Ruta para G-01:

0→1→132→133→134→135→127→121→120→18→101→100→99→  
 102→103→96→72→15→67→64→16→62→63→17→80→79→9→77→10→76  
 →14→13→12→90→11→93→94→95→96→97→98→5→43→4→44→5→46→  
 6→47→7→48→8→50→192→193→194→84→139→138→136→196→195→27  
 →28→29→2→29→28→27→33→34→3→34→33→40→41→139→22→140→  
 23→24→142→152→153→144→143→25→19→20→21→138→136→196→19  
 5→27→191→156→158→165→164→183→184→186→197→185→184→183  
 →167→166→173→26→1→0.

**Figura 28**

*Ruta de Recolección Determinada por el Algoritmo Genético para G-01*





**Tabla 15**

*Distancia para Recolección y Transporte de Residuos Sólidos en G-01*

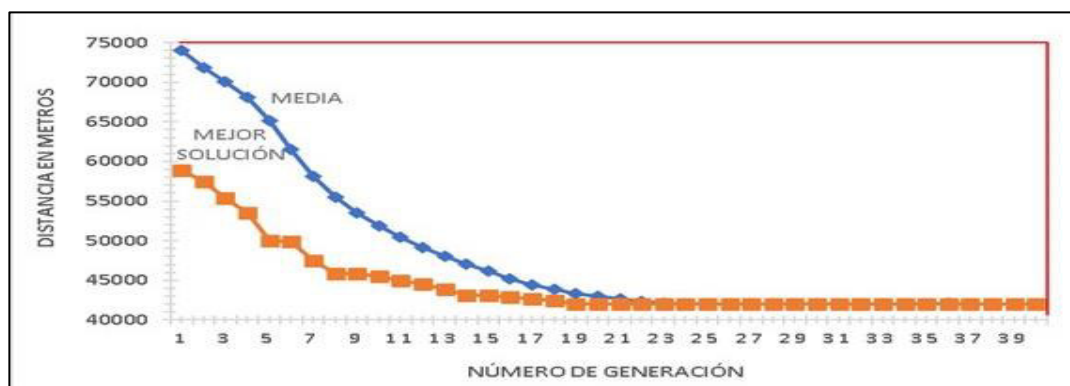
<b>TRAMO</b>	<b>Actual</b>	<b>Algoritmo Genético</b>	<b>Mejoría</b>	<b>%Mejoría</b>
Maestranza - Recolección	13.302 km	11.009 km	2.291 km	17.2%
Transporte - Maestranza	31.042 km	31.042 km	0 km	0%
<b>TOTAL</b>	<b>44.34 km</b>	<b>42.051 km</b>	<b>2.291 km</b>	<b>5.2%</b>

Según la Tabla 15, se concluye que:

- A nivel de recolección se alcanzó una mejoría de 2.291 km, equivalente a 17.2% del recorrido actual de recolección.
- A nivel de todo el proceso de recolección y transporte hasta el retorno a Maestranza se alcanzó una mejoría de 2.291 km, equivalente a una mejora alrededor del 5.2% de todo el recorrido.

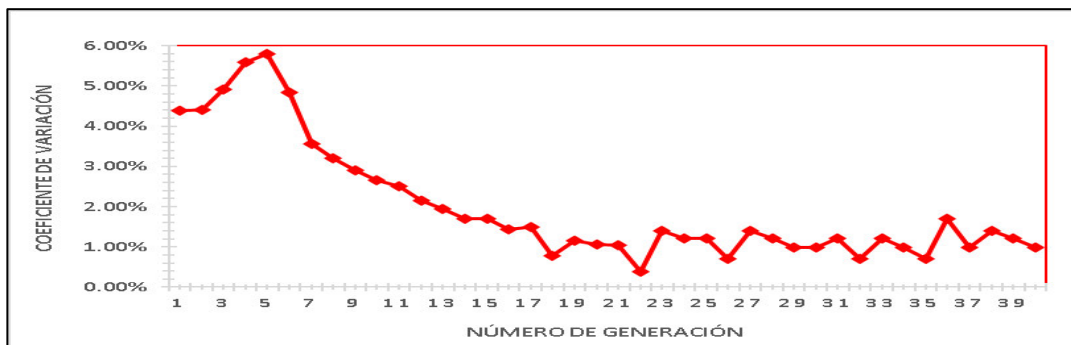
**Figura 29**

*Evolución de la Media y Mejor Solución en cada Generación para Ruta G-01*



**Figura 30**

*Evolución Coeficiente de Variación de Población por Generación para G-01*



Por medio de las Figuras 29 y 30, se observa la convergencia de la población hacia un superindividuo.

## **B) Para los Contenedores de Sector G-02**

Al realizar el recorrido según la ruta establecida por la Subgerencia de Limpieza Publica, la distancia de recorrido de la Ruta G-02 original fue de 40.026 km.

Por medio del algoritmo genético implementado en NetBeans, con lenguaje de programación Java, se determinó el siguiente orden: (Maestranza, 1, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 21, 17, 20, 19, 18, 16, 14, 6, 4, 5, 7, 8, 3, 2, Relleno Sanitario, Maestranza), con un total de 38.315 km.

O su equivalente en términos de Ruta para G-02:

0→123→124→125→126→128→130→153→132→131→30→31→32→3  
 3→1→9→37→10→37→11→12→38→13→38→63→15→71→72→55→54→21  
 →54→55→72→17→52→51→20→51→52→19→77→18→74→69→16→68→6  
 7→14→109→6→108→4→5→4→108→6→7→8→3→2→110→35→36→32→2

9→28→26→190→156→158→165→164→183→184→185→**199**→185→184→  
183→167→166→158→173→24→22→**0**.

**Figura 31**

*Ruta de Recolección Determinada por el Algoritmo Genético para G-02*



**Tabla 16**

*Distancia para Recolección y Transporte de Residuos Sólidos en G-02*

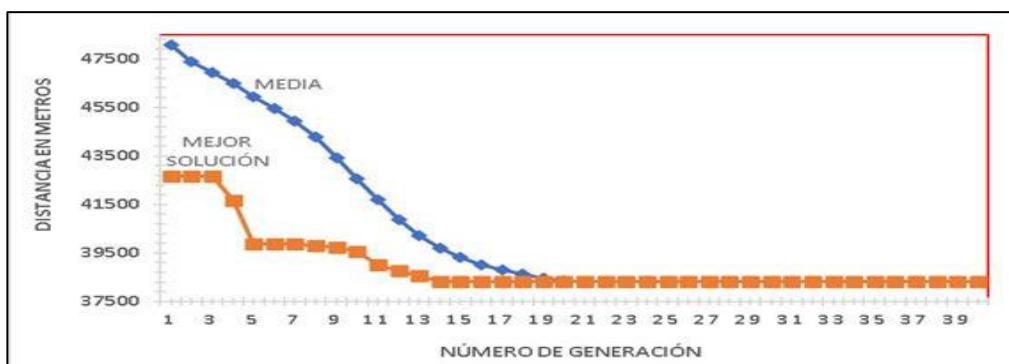
TRAMO	Actual	Algoritmo Genético	Mejoría	% de Mejoría
Maestranza - Recolección	8.365 km	6.942 km	1.423 km	17%
Transporte - Maestranza	31.661 km	31.373 km	0.288 km	0.91%
<b>TOTAL</b>	<b>40.026 km</b>	<b>38.315 km</b>	<b>1.711 km</b>	<b>4.3%</b>

Según la Tabla 16, se concluye:

- A nivel de recolección se alcanzó una mejoría de 1.423 km, equivalente a 17% del recorrido actual de recolección.
- A nivel de todo el proceso de recolección y transporte hasta el retorno se alcanzó una mejoría de 1.711 km, alrededor del 4.3% de todo el recorrido.

**Figura 32**

*Evolución de la Media y Mejor Solución en cada Generación para Ruta G-02*



**Figura 33**

*Evolución Coeficiente de Variación de Población por Generación para G-02*



Por medio de las Figuras 32 y 33, se observa la convergencia de la población hacia un superindividuo.

### C) Para los Contenedores del Sector G-03

Al realizar el recorrido según la ruta establecida por la Subgerencia de Limpieza Pública, la distancia de recorrido de la Ruta G-03 original fue de 43.025 km.

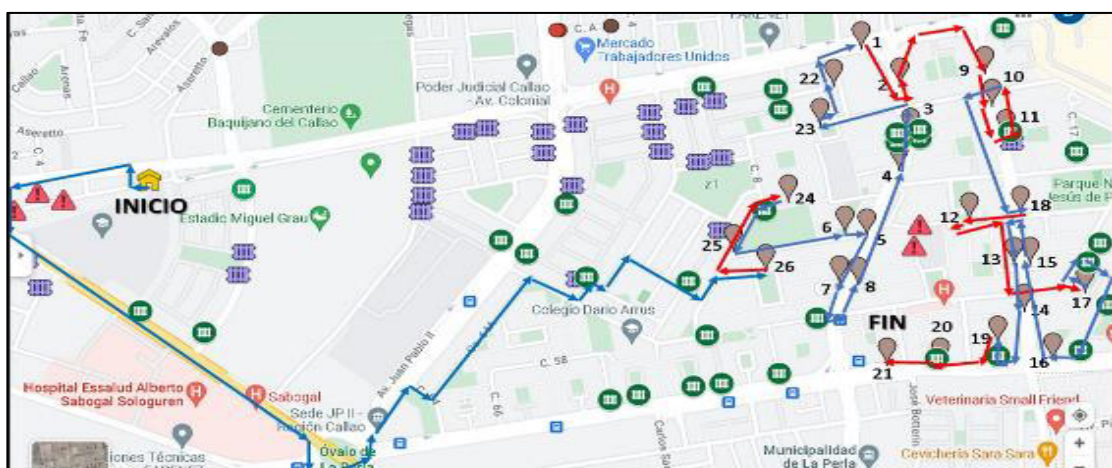
Por medio del algoritmo genético implementado en NetBeans, con lenguaje de programación Java, se determinó el siguiente orden: (Maestranza, 26, 25, 24, 6, 5, 7, 8, 4, 3, 23, 22, 1, 2, 9, 11, 10, 18, 12, 17, 16, 15, 13, 14, 19, 20, 21, Relleno Sanitario, Maestranza), con un total de 41.223 km.

O su equivalente en términos de ruta para G-03:

0, 140, 141, 139, 145, 149, 150, 151, 33, 34, 35, 122, 121, 118, 117, 55, 114, 107, 108, 109, 110, 96, 95, **26**, 95, **25**, 94, **24**, 94, 25, **6**, **5**, **7**, 67, 66, **8**, 66, 64, **4**, **3**, 62, 83, 82, **23**, 82, **22**, 80, **1**, 62, **2**, 59, 57, **9**, 10, **11**, 54, **10**, 53, 52, **18**, 50, **12**, 77, 78, 50, 13, 41, **17**, 42, 43, 136, **16**, 41, **15**, 50, **13**, **14**, 74, 73, **19**, 73, 72, **20**, **21**, 38, 120, 35, 32, 31, 29, 200, 166, 168, 175, 174, 193, 194, 196, **208**, 195, 194, 193, 177, 176, 183, 28, 27, **0**.

### Figura 34

*Ruta de Recolección Determinada por el Algoritmo Genético para G-03*



**Tabla 17**

*Distancia para Recolección y Transporte de Residuos Sólidos en G-03*

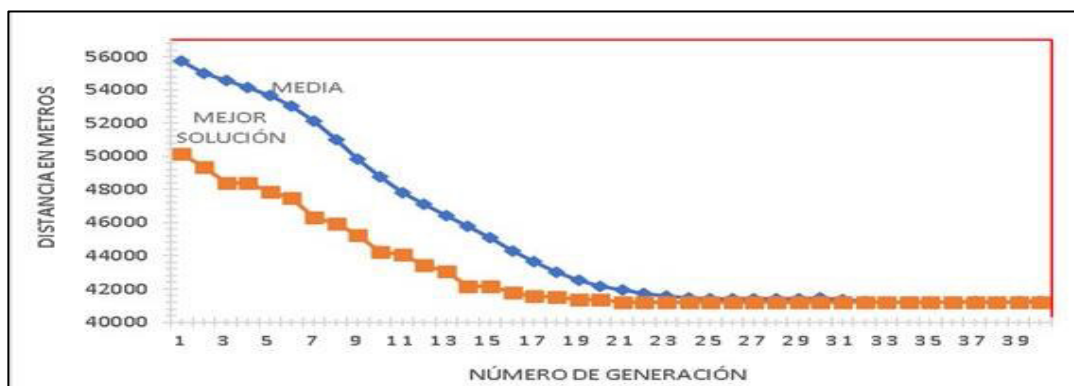
TRAMO	Actual	Algoritmo Genético	Mejoría	% de Mejoría
Maestranza - Recolección	11.236 km	9.465 km	1.771 km	15.76%
Transporte - Maestranza	31.789 km	31.758 km	0.031 km	0.10%
<b>TOTAL</b>	43.025 km	41.223 km	1.802 km	4.37%

Según la Tabla 17, se concluye:

- A nivel de recolección se alcanzó una mejoría de 1.771 km, equivalente a 15.76% del recorrido actual de recolección.
- A nivel de todo el proceso de recolección y transporte hasta el retorno a Maestranza se alcanzó una mejoría de 1.802 km, equivalente a una mejora alrededor del 4.37% de todo el recorrido.

**Figura 35**

*Evolución de la Media y Mejor Solución en cada Generación para Ruta G-03*



**Figura 36**

*Evolución Coeficiente de Variación de Población por Generación para G-03*



Por medio de las Figuras 35 y 36, se observa la convergencia de la población hacia un superindividuo.

#### **D) Para los Contenedores del Sector G-04**

Al realizar el recorrido según la ruta establecida por la Subgerencia de Limpieza Publica, la distancia de recorrido de la Ruta G-04 original fue de 42.664 km.

Por medio del algoritmo genético implementado en NetBeans, con lenguaje de programación Java, se determinó el siguiente orden: (Maestranza, 5, 8, 6, 7, 2, 3, 4, 13, 22, 14, 10, 11, 12, 1, 23, 15, 16, 21, 18, 17, 20, 19, 9, Relleno Sanitario, Maestranza), con un total de 39.516 km.

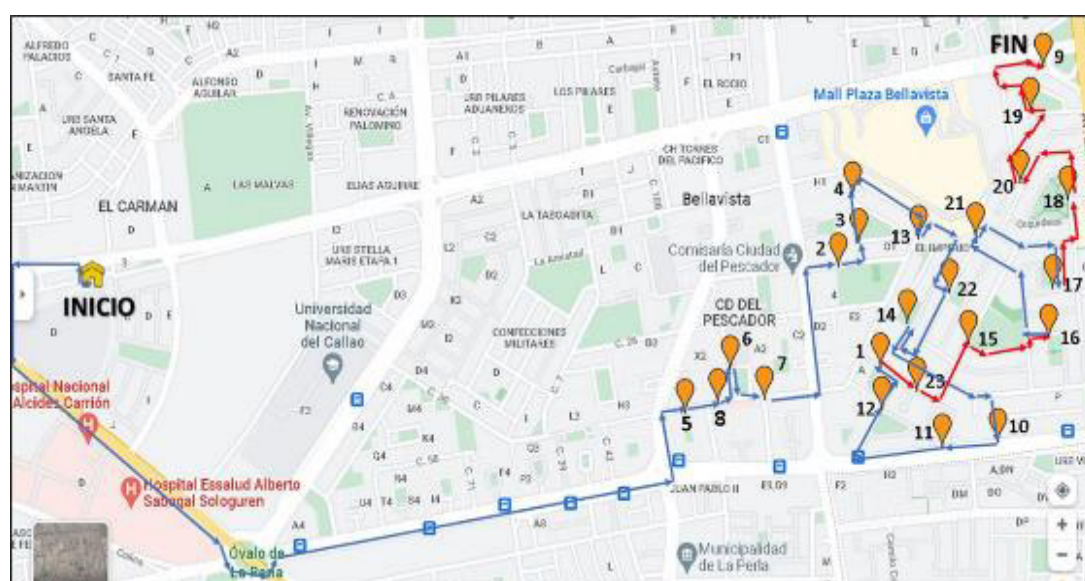
O su equivalente en términos de Ruta para G-04:

**0**→133→134→135→138→137→136→144→30→31→35→37→36→**5**→  
56→**8**→57→**6**→57→59→**7**→49→48→**2**→85→**3**→**4**→86→87→**13**→87→106→  
107→**22**→82→71→72→**14**→72→71→70→69→68→**10**→63→**11**→60→61→**12**

→66→**1**→66→**23**→67→70→74→**15**→76→78→**16**→78→79→80→113→105→**21**→104→103→109→108→**17**→108→114→110→**18**→112→99→111→101→**20**→98→96→95→94→**19**→93→92→91→90→**9**→100→116→181→194→**201**→193→192→191→170→169→176→26→24→**0**.

**Figura 37**

*Ruta de Recolección Determinada por el Algoritmo Genético para G-04*



**Tabla 18**

*Distancia para Recolección y Transporte de Residuos Sólidos en G-04*

TRAMO	Actual	Algoritmo Genético	Mejoría	% de Mejoría
Maestranza - Recolección	10.666 km	9.02 km	1.646 km	15.4%
Transporte - Maestranza	31.998 km	30.496 km	1.502 km	4.7%
<b>TOTAL</b>	<b>42.664 km</b>	<b>39.516 km</b>	<b>3.148 km</b>	<b>7.4%</b>

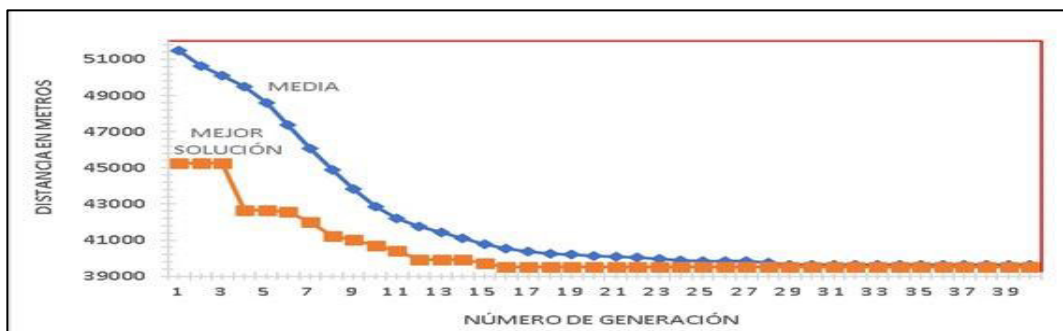


Según la Tabla 18, se concluye:

- A nivel de recolección se alcanzó una mejoría de 1.646 km, equivalente a 15.4% del recorrido actual de recolección.
- A nivel de todo el proceso de recolección, transporte hasta el retorno a Maestranza se alcanzó una mejoría de 3.148 km, equivalente a una mejora alrededor del 7.4% de todo el recorrido.

**Figura 38**

*Evolución de la Media y Mejor Solución en cada Generación para Ruta G-04*



**Figura 39**

*Evolución Coeficiente de Variación de Población por Generación para G-04*



Por medio de las Figuras 38 y 39 se observa la convergencia de la población hacia un superindividuo.

## E) Para los Contenedores del Sector G-05

Al realizar el recorrido según la ruta establecida por la Subgerencia de Limpieza Pública, la distancia de recorrido de la Ruta G-05 original fue de 42.118 km.

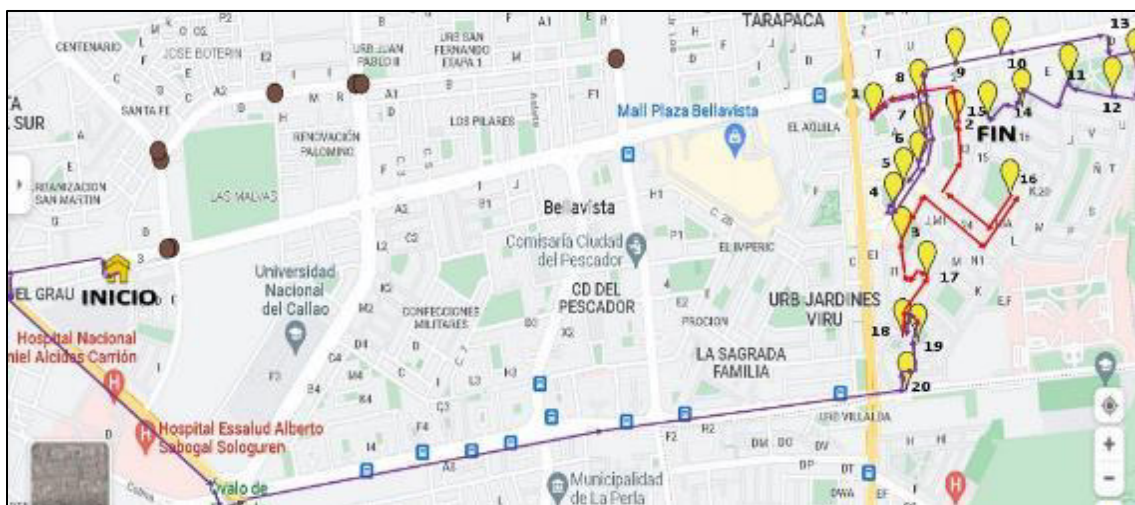
Por medio del algoritmo genético, se determinó el siguiente orden: (Maestranza, 20, 18, 19, 17, 3, 16, 2, 1, 6, 7, 5, 4, 8, 9, 10, 13, 12, 11, 15, 14, Relleno Sanitario, Maestranza), con un total de 40.068 km.

O su equivalente en términos de Ruta para G-05:

0→137→136→135→140→141→145→146→27→28→133→36→**20**→  
130→39→40→44→46→**19**→52→56→51→**18**→51→56→57→**17**→70→71→74  
→**3**→76→77→68→67→66→101→**16**→101→100→99→98→**2**→96→94→95→  
90→**1**→90→95→7→**6**→86→**5**→86→79→**4**→84→**7**→**8**→92→**9**→**10**→121→  
120→122→123→124→**13**→125→126→**12**→**11**→119→118→117→115→**14**→  
112→**15**→113→111→110→109→96→94→92→132→131→159→160→187→  
197→**212**→196→195→194→174→173→180→23→21→**0**.

### Figura 40

*Ruta de Recolección Determinada por el Algoritmo Genético para G-05*



**Tabla 19**

*Distancia para Recolección y Transporte de Residuos Sólidos en G-05*

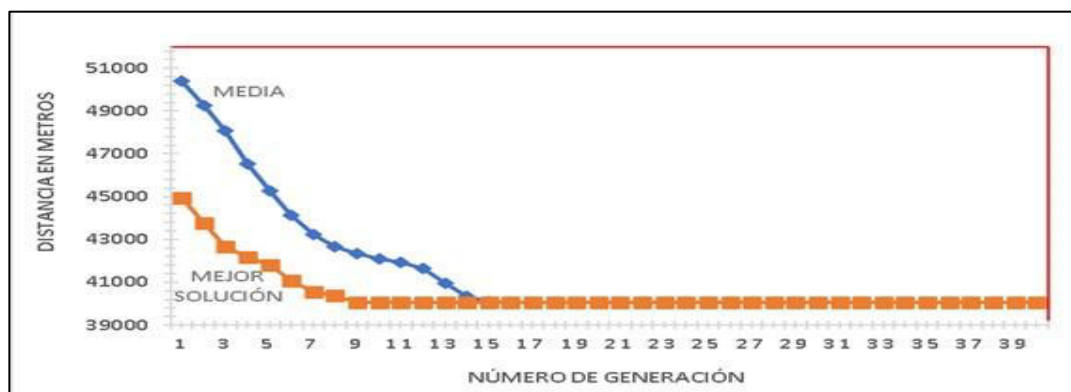
<b>TRAMO</b>	<b>Actual</b>	<b>Algoritmo Genético</b>	<b>Mejoría</b>	<b>% de Mejoría</b>
Maestranza - Recolección	11.403 km	9.879 km	1.524 km	13.36%
Transporte - Maestranza	30.707 km	30.189 km	0.518 km	1.69%
<b>TOTAL</b>	<b>42.11 km</b>	<b>40.068 km</b>	<b>2.042 km</b>	<b>4.85%</b>

Según la Tabla 19, se concluye:

- A nivel de recolección se alcanzó una mejoría de 1.524 km, equivalente a 13.36% del recorrido actual de recolección.
- A nivel de todo el proceso de recolección, transporte hasta el retorno a Maestranza se alcanzó una mejoría de 2.042 km, equivalente a una mejora alrededor del 4.85% de todo el recorrido.

**Figura 41**

*Evolución de la Media y Mejor Solución en cada Generación para Ruta G-05*



**Figura 42**

*Evolución Coeficiente de Variación de Población por Generación para G-05*



Por medio de las Figuras 41 y 42, se puede observar la convergencia de la población hacia un superindividuo, mostrando la evolución de la menor distancia producida en cada generación.

#### **F) Para los Contenedores del Sector G-06**

Al realizar el recorrido según la ruta establecida por la Subgerencia de Limpieza Pública, la distancia de recorrido de la Ruta G-06 original fue de 44.959 km.

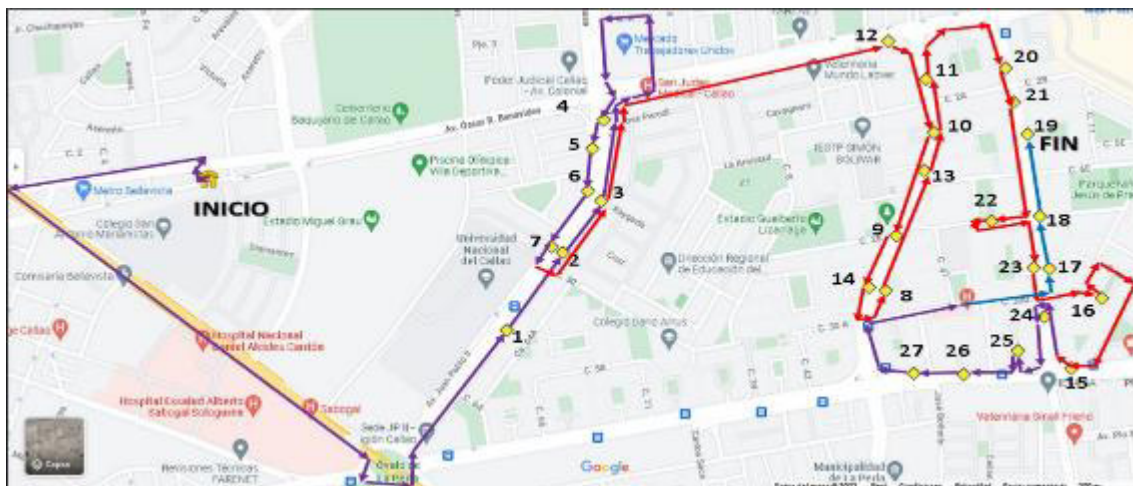
Se determinó el siguiente orden: (Maestranza, 20, 18, 19, 17, 3, 16, 2, 1, 6, 7, 5, 4, 8, 9, 10, 13, 12, 11, 15, 14, Relleno Sanitario, Maestranza), con un total de 41.479 km., o su equivalente en términos de Ruta para G-06:

0→31→32→33→36→37→41→54→42→60→61→62→64→1→80→2→3→66→68→200→202→67→4→5→6→7→80→2→3→66→103→116→117→120→69→12→71→217→9→14→76→206→73→8→73→72→130→13→10→11→124→20→127→21→128→129→131→22→131→23→135→203→16→143→144→147→145→15→203→135→24→136→25→136→138→26→27→2

06→139→137→135→203→17→18→160→19→204→125→162→211→216→  
196→218→195→194→193→177→176→183→30→28→0.

**Figura 43**

*Ruta de Recolección Determinada por el Algoritmo Genético para G-06*



**Tabla 20**

*Distancia para Recolección y Transporte de Residuos Sólidos en G-06*

TRAMO	Actual	Algoritmo Genético	Mejoría	% de Mejoría
Maestranza - Recolección	13.035 km	10.571 km	2.464 km	18.90%
Transporte - Maestranza	31.924 km	30.908 km	1.016 km	3.18%
<b>TOTAL</b>	44.959 km	41.479 km	3.48 km	7.74%

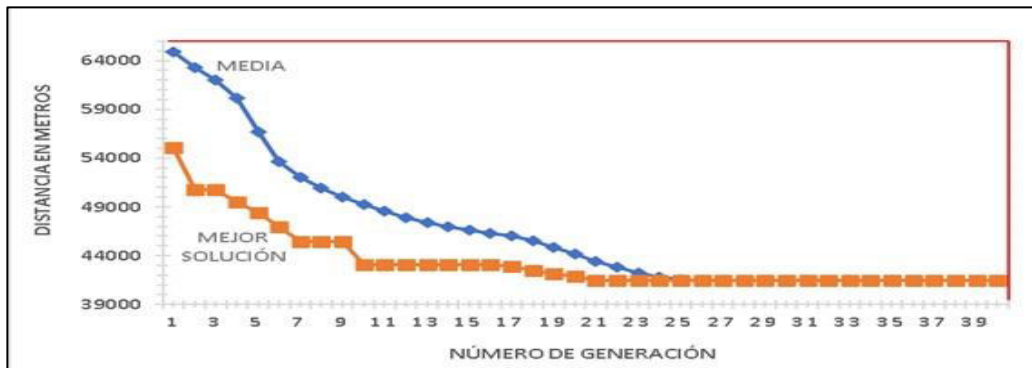
Según la Tabla 20, se concluye:

- A nivel de recolección se alcanzó una mejoría de 2.464 km, equivalente a 18.9% del recorrido actual de recolección.

- A nivel de todo el proceso de recolección, transporte hasta el retorno a Maestranza se alcanzó una mejoría de 3.48 km, equivalente a una mejora alrededor del 7.74% de todo el recorrido.

**Figura 44**

*Evolución de la Media y Mejor Solución en cada Generación para Ruta G-06*



**Figura 45**

*Evolución Coeficiente de Variación de Población por Generación para G-06*



Por medio de las Figuras 44 y 45, se puede observar la convergencia de la población hacia un superindividuo, mostrando la evolución de la menor distancia producida en cada generación.

#### 4.1.2. Presentación de Resultados

#### 4.1.3. Ahorro en Distancia Recorrida

Se comparó los recorridos obtenidos por el uso de los Algoritmos Genéticos con los originales en términos de distancia.

**Tabla 21**

*Distancias Recorridas Diarias por Rutas Propuestas vs Actuales*

<b>TRAMO SEGÚN RUTA</b>	<b>Original</b>	<b>Alg. Genético</b>	<b>Mejoría</b>	<b>% Mejoría</b>
Maestranza - Recolección G-01	13.30 km	11.01 km	2.29 km	17.23%
Transporte - Maestranza G-01	31.04 km	31.04 km	0.00 km	0.00%
<b>TOTAL RUTA G-01</b>	<b>44.34 km</b>	<b>42.05 km</b>	<b>2.29 km</b>	<b>5.17%</b>
Maestranza - Recolección G-02	8.37 km	6.94 km	1.42 km	17.01%
Transporte - Maestranza G-02	31.66 km	31.37 km	0.29 km	0.91%
<b>TOTAL RUTA G-02</b>	<b>40.03 km</b>	<b>38.32 km</b>	<b>1.71 km</b>	<b>4.27%</b>
Maestranza - Recolección G-03	11.24 km	9.47 km	1.77 km	15.76%
Transporte - Maestranza G-03	31.79 km	31.76 km	0.03 km	0.10%
<b>TOTAL RUTA G-03</b>	<b>43.03 km</b>	<b>41.22 km</b>	<b>1.80 km</b>	<b>4.37%</b>
Maestranza - Recolección G-04	10.67 km	9.02 km	1.65 km	15.43%
Transporte - Maestranza G-04	32.00 km	30.50 km	1.50 km	4.69%
<b>TOTAL RUTA G-04</b>	<b>42.66 km</b>	<b>39.52 km</b>	<b>3.15 km</b>	<b>7.38%</b>
Maestranza - Recolección G-05	11.40 km	9.88 km	1.52 km	13.36%
Transporte - Maestranza G-05	30.71 km	30.19 km	0.52 km	1.69%
<b>TOTAL RUTA G-05</b>	<b>42.11 km</b>	<b>40.07 km</b>	<b>2.04 km</b>	<b>4.85%</b>
Maestranza - Recolección G-06	13.04 km	10.57 km	2.46 km	18.90%
Transporte - Maestranza G-06	31.92 km	30.91 km	1.02 km	3.18%
<b>TOTAL RUTA G-06</b>	<b>44.96 km</b>	<b>41.48 km</b>	<b>3.48 km</b>	<b>7.74%</b>
<b>TOTAL ACUMULADO</b>	<b>257.12 km</b>	<b>242.65 km</b>	<b>14.47 km</b>	<b>5.63%</b>

**Tabla 22***Resumen de Distancias Recorridas Diarias por Rutas Propuestas vs Actuales*

Tramo	Original	Alg. Genético	Mejoría	% Mejoría
Maestranza - Recolección	68.01 km	56.89 km	11.12 km	16.3%
Transporte - Maestranza	189.12 km	185.77 km	3.36 km	1.8%
Total	257.12 km	242.65 km	14.47 km	5.63%

**Tabla 23***Distancia Recorrida en Periodo de Tiempo según Herramienta Utilizada*

Periodo de Tiempo	Ruta Original	Algoritmo Genético	Ahorro en Km
Diario	257.12 km	242.65 km	14.47 km
Mensual	7713.72 km	7279.56 km	434.16 km
Anual	93850.26 km	88567.98 km	5282.28 km

#### 4.1.4. Ahorro Monetario en Costos Variables de Nuevas Rutas

Con base en las nuevas rutas definidas por el algoritmo genético, las cuales determinaron un ahorro de kilometraje recorrido, se procedió a realizar entrevistas al personal de maestranza por las cuales definimos la Tabla 24 según escenarios.

- Los vehículos recolectores usan Diesel, cuyo costo por galón es aproximadamente S/. 12 soles con un rendimiento por galón que varía según la carga útil, la cantidad de paradas que realice entre otros factores.



- Los camiones recolectores al detenerse en las ubicaciones de los contenedores soterrados y con el motor encendido, para hacer las maniobras respectivas, generan un gasto de combustible difícil de cuantificar. Por tanto, se procedió a trabajar con tres escenarios (pesimista, probable y optimista) según ponderaciones.

**Tabla 24***Escenarios de Consumo de Diesel*

Descripción	Escenario I	Escenario II	Escenario III
	Optimista	Probable	Pesimista
Rendimiento km/gal	10	8	4.5
Costo por km	S/ 1.20	S/ 1.50	S/ 2.67

Nota. El “costo por km” se calculó como el cociente (costo x galón =12 soles) / rendimiento km x galón), donde el rendimiento fue proporcionado por el personal a cargo en base a sus estimaciones empíricas.

**Tabla 25***Costos de Recolección y Transporte de Rutas Actuales según Periodicidad*

Descripción	Ahorro en km	Escenario Optimista	Escenario Probable	Escenario Pesimista
		(S/ 1.20/km)	(S/ 1.50/km)	(S/ 2.67/km)
Ahorro Diario	14.472 km	S/. 17.3664	S/. 21.708	S/. 38.592
Ahorro Mensual	434.16 km	S/. 520.992	S/. 651.24	S/. 1157.76
Ahorro Anual	5282.28km	S/. 6338.736	S/. 7923.42	S/. 14086.08

Nota. Las cantidades monetarias se calcularon como el producto del ahorro según su periodicidad multiplicado con el costo según el escenario correspondiente.

#### 4.1.5. Beneficios Adicionales

Como parte de elaborar investigaciones que contribuyan al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la presente investigación incluye como aporte adicional la reducción de litros de combustible, lo cual conlleva a una menor cantidad de emisión de CO<sub>2</sub> y por tanto, es una investigación enfocada al Objetivo de Desarrollo Sostenible 13: Acción por el Clima, como una medida para combatir el cambio climático y sus efectos.

Antes de definir algunas fórmulas que permitan cuantificar tanto el costo del combustible utilizado, la cantidad de combustible consumido y la cantidad en “kg” de CO<sub>2</sub> emitido durante la recolección (Wu, Tao, Qiao, & Zhang, 2020), mencionados algunos términos:

$Q_0$  → Peso del propio vehículo

$Q_1$  → Peso de la carga del vehículo (carga recogida)

$Q$  → Capacidad de carga máxima del vehículo

$\rho_0$  → Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia con el vehículo vacío (L / km)

$\rho$  → Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia (L / km)

$\rho^*$  → Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia mientras el vehículo está a plena carga (L / km)

$\rho_{idel}$  → Tasa de consumo de combustible por unidad de tiempo con el vehículo en ralentí

$F_{fuel}$  → Cantidad total de consumo de combustible (L / min)

$E_{CO_2}$  → Cantidad total de emisiones de carbono por consumo de combustible.

$\eta$  → Valor del factor de conversión del consumo de combustible y dióxido de carbono

$D_{ij}$  → Distancia entre contenedores “i” y “j”

$\rho_{ij}$  → Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia entre contenedores “i” y “j” (L/km).

$T_i$  → Tiempo de servicio de la papelera inteligente i

$P_f$  → Costo fijo de por unidad de vehículo

$P$  → Precio del consumo de combustible por unidad

Donde, se utilizó la siguiente fórmula (Wu, Tao, Qiao, y Zhang, 2020):

$$\rho(Q_1) = \rho_0 + [(\rho^* - \rho_0)/Q] * Q_1 \dots\dots\dots \text{(fórmula 5)}$$

De la fórmula 1,  $\rho(Q_1)$  es interpretada como la “Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia para una carga con peso  $Q_1$ ”. Tomando en cuenta que el valor de la carga  $Q_1$  varía entre cada par de contenedores soterrados, podemos identificar la fórmula de la siguiente manera:

$$\rho_{ij} = \rho_0 + [(\rho^* - \rho_0)/Q] * Q_{ij} \dots\dots\dots \text{(fórmula 6)}$$

$$F_{fuel} = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N x_{ij} d_{ij} \rho_{ij} + \sum_{i=1}^N x_{ij} t_j \rho_{idel} \dots\dots\dots \text{(fórmula 7)}$$

$$Y \text{ donde: } E_{CO_2} = \eta * F_{fuel} \dots\dots\dots \text{( fórmula 8)}$$

Donde:

- La fórmula 6, se utilizará para calcular la tasa de consumo de combustible entre cada par de contenedores
- La fórmula 7, para determinar el total de litros consumidos durante el proceso de recolección, transporte y ralentí de cada vehículo recolector
- La fórmula 8, para determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida durante el proceso de recolección, transporte y ralentí de cada vehículo recolector

**a. Reducción del Consumo de Combustible en Litros**

Se realizaron los siguientes cálculos para determinar el valor de los parámetros necesarios:

- $\rho_0$  = el consumo de combustible del escenario Optimista l/km (Vehículo Vacío) = 3.785 litros / 10km = 0.3785 lts/km
- $\rho^*$  = el consumo de combustible del escenario Pesimista (Vehículo Lleno) = 3.785 litros / 4.5km = 0.8411 l/km
- $Q_0= 19tn$ ,  $Q_1= 9tn$ ,  $Q = 25tn$  (parámetros de vehículo recolector)
- $\rho_{idel} = 0.01$  lts/min , valor tomado de una investigación similar para camión recolector (Wu, Tao, Qiao, y Zhang, 2020).
- $p = 12$  soles / 1 galón = 12 soles / 3.785 litros = 3.17 soles / lt.

Estos valores se registran en la Tabla 26.

**Tabla 26***Tabla de Valores de Parámetros usados*

Parámetros	Valores
$\rho_0$	0.3785 lts /km
$\rho^*$	0.8411 lts /km
$Q_0$	16 tn
$Q_1$	9 tn
$Q$	25 tn
$\rho_{idel}$	0.01 lts /min
$p$	3.17 soles / lt

Con los valores de la Tabla 26, se realizó el cálculo promedio del consumo total de combustible para cada ruta (ver Anexos 59, 60, 61, 62, 63 y 64), los cuales fueron consolidados en la Tabla 27.

**Tabla 27***Cantidad de Litros de Diesel Diarios Consumidos y Ahorro Proyectado*

Sector	Ruta Original	Ruta Mejorada	Ahorro Diesel (lts)	%Mejoría
G-01	20.60 lts	19.81 lts	0.79 lts	3.85%
G-02	18.20 lts	17.41 lts	0.79 lts	4.35%
G-03	20.07 lts	19.38 lts	0.69 lts	3.43%
G-04	18.73 lts	17.37 lts	1.36 lts	7.26%
G-05	18.42 lts	17.47 lts	0.95 lts	5.14%
G-06	21.26 lts	19.61 lts	1.65 lts	7.77%
Total	117.27 lts	111.04 lts	6.23 lts	5.31%

**b. Reducción de Consumo de Combustible en Costos**

De la Tabla 27, se proyecta un ahorro anual alrededor de 2274 litros de Diesel, equivalente a 600 galones de Diesel.

Al tener un costo de S/. 12 x galón, según información de trabajadores de la Unidad de Maestranza, se estima un ahorro monetario anual alrededor de S/. 7210 soles, cuyo monto es aproximado al ahorro proyectado en el Escenario Probable de la Tabla 25.

**c. Reducción de Emisión de CO<sub>2</sub> Proyectado**

Con base en diferentes valores del factor de conversión del consumo de combustible y dióxido de carbono determinados en otras investigaciones, se observó un valor mínimo de 2.547 kg/litro y un valor máximo de 2.69 kg/litro. Dicho valor depende de la calidad de Diésel utilizado, el cual para la presente investigación es el Diésel B5-S50. Para los cálculos de la presente investigación se tomó el valor de 2.63 kg/litro (Wu, Tao, Qiao, & Zhang, 2020), tomando en cuenta que los valores mínimos encontrados fueron para marcas de Diesel genérico y el B5-S50 es uno de mayor calidad.

Por lo cual, con el factor de conversión:  $\eta = 2.63$  kg/litro utilizado en la fórmula 8, se construyó la Tabla 28.

**Tabla 28***Cantidad Proyectada de Disminución de Emisión de CO<sub>2</sub> por día*

Ruta	Kg de CO <sub>2</sub> inicialmente	Kg de CO <sub>2</sub> propuesto	Disminución en Kg de CO <sub>2</sub>	% Disminución
G-01	54.17 kg	52.09 kg	2.08 kg	3.85%
G-02	47.86 kg	45.78 kg	2.08 kg	4.35%
G-03	52.77 kg	50.96 kg	1.81 kg	3.43%
G-04	49.26 kg	45.68 kg	3.58 kg	7.26%
G-05	48.44 kg	45.95 kg	2.49 kg	5.14%
G-06	55.91 kg	51.57 kg	4.34 kg	7.77%
<b>TOTAL</b>	<b>308.42 kg</b>	<b>292.03 kg</b>	<b>16.39 kg</b>	<b>5.31%</b>

De la Tabla 28, podemos concluir una disminución alrededor del 5.31% de emisión de CO<sub>2</sub> con respecto a la emisión calculada por las rutas que el Municipio maneja inicialmente. Una disminución aproximada de 16.39 kg de CO<sub>2</sub> al día o equivalente a una disminución de poco más de 5.98 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.

#### **4.1.6. Análisis de Parámetros para la Mejoría de Resultados**

##### **A) Calles Habilitadas**

Los resultados antes mencionados pueden ser aun mejorados según:

- Cuando las obras de la Línea 2 del Metro de Lima sean terminadas y así se habiliten nuevos arcos por donde es posible acceder de forma mas rápida y con menor costo.

- Se habiliten las calles usadas como estacionamiento por los residentes del distrito en determinados horarios lo cual imposibilita el paso del vehículo recolector.

#### **B) Ubicación de Rejas**

- Existe una elevada cantidad de rejas que no cuentan con personal perenne para permitir el paso del camión recolector, lo cual imposibilita elegir mejores arcos en la construcción de un camino mas eficiente en términos de distancia.

### **4.2. Validación de Hipótesis**

#### **4.2.1. Hipótesis General**

- Mediante la aplicación de un Algoritmo Genético Elitista será posible determinar rutas para realizar la recolección y transporte de residuos sólidos en contenedores soterrados de carga vertical en Bellavista-Callao de tal manera que se reduzcan los costos de recolección y transporte

**Conclusión:** El Algoritmo Genético Elitista diseñado permitió definir rutas las cuales permitieron una disminución de consumo de alrededor de los 6.23 litros diarios de Diesel (ver Tabla 27), lo que al año equivaldría a un ahorro de alrededor de los 2274 litros de Diesel con un costo de S/. 7210 soles. Por tanto, se logró una reducción de los costos de recolección y transporte de los residuos sólidos.



#### 4.2.2. Hipótesis Específicas

**Hipótesis Específica 1:** Mediante la aplicación de un Algoritmo Genético Elitista será posible determinar rutas que reduzcan el recorrido durante la recolección y transporte de residuos sólidos en contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao

**Indicador:**

- a. Disminución de Distancia Recorrida (diario) = kilómetros en rutas actuales – kilómetros en rutas propuestas

$$\text{Disminución de Distancia Recorrida (diario)} = 257.124 - 242.652 = 14.472\text{km}$$

$$\text{Disminución de Distancia Recorrida (anual)} = 5282.28 \text{ km} \approx 5282 \text{ km.}$$

- b. % de Mejoría de Distancia Recorrida = (kilómetros en rutas actuales – kilómetros en rutas propuestas)/(kilómetros en rutas actuales)

$$\% \text{ de mejoría de distancia recorrida} = [(257.124 - 242.652)/(257.124)] \times 100\%$$

$$\% \text{ de Mejoría de Distancia Recorrida} = 5.63\%$$

**Conclusión:** El Algoritmo Genético Elitista definido permitió definir nuevas rutas, las cuales redujeron el recorrido diario en 14.472km (ver Tabla 22), o su equivalente a 5282.28 km al año, lo cual significa una mejoría alrededor del 5.63% con respecto al recorrido de las rutas oficiales manejadas por la Subgerencia de Limpieza Pública

**Hipótesis Específica 2:** Mediante las nuevas rutas determinadas será posible disminuir el consumo de combustible necesario para la recolección y transporte de residuos sólidos en contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao.

### Indicadores

- a. Ahorro en Combustible (diario) = Litros de combustible en rutas actuales – Litros de combustible en rutas propuestas

$$\text{Ahorro en Combustible (diario)} = 117.27 - 111.04 = 6.23 \text{ litros}$$

$$\text{Ahorro en Combustible (anual)} = 2274.1 \text{ litros}$$

- b. % de Mejoría de Consumo de Combustible = [ ( Litros de combustible en rutas actuales – Litros de combustible en rutas propuestas ) / ( Litros de combustible en rutas actuales ) ] x 100%

$$\begin{aligned} \text{\% de Mejoría de Consumo de Combustible} &= \\ &= [ (117.27 - 111.04) / (117.27) ] \times 100\% = 5.31\% \end{aligned}$$

**Conclusión:** Presentando un consumo promedio diario de 117.27 litros de Diesel, por medio de los algoritmos genéticos se logró definir rutas las cuales presentan un consumo promedio diario proyectado de 111.04 litros de Diesel. Por tanto, se redujo el consumo de combustible diario para la recolección y transporte de residuos sólidos en los contenedores soterrados de Bellavista en 6.23 litros (5.31% de la cantidad actual)

**Hipótesis Específica 3:** Mediante las nuevas rutas determinadas será posible disminuir los costos en relación al consumo de combustible para la recolección y transporte de residuos sólidos en contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao

### Indicadores

- a. Costo Ahorrado en Combustible (diario) = ( Ahorro en Combustible ) \* ( Costo por Litro de Combustible )

$$\text{Costo Ahorrado en Combustible (diario)} = 6.23 * (12 / 3.785)$$

$$= \text{S/. } 19.75 \text{ soles}$$

$$\text{Costo Ahorrado en Combustible (anual)} = \text{S/. } 7209.82 \text{ soles}$$

$$\approx \text{S/. } 7210 \text{ soles}$$

**Conclusión:** Con la implementación del Algoritmo Genético Elitista se logró determinar un ahorro de combustible de 6.23 litros diarios. Con un costo aproximado de S/. 3.17 soles por litro el ahorro monetario diario aproximado es de S/. 19.75 soles o su equivalente alrededor de S/. 7210 soles anuales. Por tanto, mediante las rutas determinadas se logró disminuir los costos en relación con el consumo de combustible durante la recolección y transporte de residuos sólidos.

### 4.3. Discusión de Resultados

Con respecto a la investigación de Rivera Frank (2019), para mejorar el recojo de residuos domiciliarios en Jauja se definió seis nuevas rutas consiguiendo un ahorro anual de S/ 32,718.12 soles, donde las rutas anteriores se elaboraron de manera empírica, en comparación con las seis rutas vigentes de la Municipalidad de Bellavista las cuales fueron elaboradas por consultoría externa y por tanto tiene una cierta base científica, con la aplicación de los Algoritmos Genéticos se logra reducir recorridos en las rutas convirtiéndose en un ahorro anual de alrededor de S/. 7210 soles. No se pudo hacer comparación de distancias por el motivo que Rivera trabajó con la variable tiempo, mientras en nuestra investigación se tomó la variable distancia recorrida.

Con respecto a la investigación de León y Quispe (2019), para el mejoramiento de recojo de residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo - Cusco, la cual logró reducir la distancia recorrida anual en 3219.456 km equivalente a un ahorro monetario anual de S/. 10968 soles; en la presente investigación se logró una disminución de la distancia recorrida anualmente de 5282.28 km, lo cual es equivalente a un ahorro monetario de alrededor de S/. 7210 soles.

Con respecto a la investigación de Maguiña Agurto (2016) con la aplicación de la Heurística del Ahorro y mejorando la solución encontrada por medio de un algoritmo de búsqueda local (2-Opt) logro determinar seis rutas nuevas las cuales representaron una disminución en el recorrido mensual de 44km (528 km anual), equivalente a una mejoría del 10%. Resultando la mejoría planteada en la presente investigación de 16.3% a nivel de recolección y 5.63% a nivel de todo el recorrido (recolección y transporte), donde al comparar a nivel de etapa de recolección a nivel porcentual nuestra mejoría fue superior a la determinada por Maguiña.

Con respecto a Hermitaño (2019), en su optimización de rutas para recojo de residuos sólidos en Huaraz, aplicando el algoritmo de Colonia de Hormigas, al ser un problema en el cual se planteaba la localización de 5 contenedores soterrados como plan piloto y con base en estos definir rutas eficientes no se puede comparar un nivel de mejoría porque no se tendría información con la cual comparar.

Con respecto a Antón (2018) en su planificador de rutas para recojo de residuos sólidos en Chiclayo, al ser un problema en el que cada usuario define la cantidad de puntos infecciosos a visitar no se pudo realizar alguna comparación.

En cuanto a las investigaciones internacionales:

En la investigación de Cabrera (2018) para la determinación de rutas entre ciudades para reparto de muestras, se presentó una mejora de 2.1% en la distancia recorrida por las nuevas rutas, dicho porcentaje es debido a la extensión a recorrer siendo de más de 14000 kilómetros y la mejora al ser comparada con dicho valor resulta ser un valor porcentual pequeño, mientras en Bellavista el recorrido es de alrededor de 257.124 km por día y su mejora fue de 14.47 km por día representando una mejora del 5.63% con respecto a sus rutas iniciales, siendo desde el punto de vista porcentual superior a la investigación de Cabrera.

Con respecto a la investigación de Betanzo, Torres, Romero y Obregón (2016), al analizar el sistema de recolección de residuos sólidos de la ciudad de Querétaro en México se estimaron sobrecostos de \$ 1180.29 dólares americanos en un día, influido por la superficie territorial de 11.70 km<sup>2</sup> donde se realiza el servicio de recolección con una flota de 81 camiones recolectores y 71 rutas establecidas. Comparándola con los resultados de la presente investigación en Bellavista cuya extensión territorial es de 4.56 km<sup>2</sup>, donde se determinó un ahorro aproximado de S/. 19.75 soles diarios (o su equivalente en \$ 4.94 dólares,

asumiendo un tipo de cambio de 4), con seis camiones recolectores y seis rutas establecidas. Se puede observar la importancia de la extensión territorial, la cantidad de camiones recolectores y rutas establecidas para la reducción de los costos, lo cual no implica que nuestras rutas sean deficientes, sino que, por la variación en la superficie, cantidad de residuos, rutas y vehículos recolectores la mejoría puede ser mayor o menor incluso aplicándose la misma metodología.

Con respecto a la investigación de Rodríguez y Velazco (2017), para las rutas de recolección de residuos sólidos en el Municipio de La Mesa, Cundinamarca, Colombia, donde se tuvo dos camiones recolectores en los que se realizaba el recojo dos veces por semana por vehículo, no se pueden realizar comparaciones con la presente investigación por el motivo de trabajar con un método distinto (de la acera) donde al final se propuso cambiar por el método de contenedores.

Con respecto a la investigación de Márquez, Rodríguez y Garro (2019), en la cual se utilizó el algoritmo de Colonia de Hormigas para definir rutas de recolección en la ciudad de Milpa Alta cuya extensión territorial es de 228km<sup>2</sup>, la cual cuenta con 58 vehículos recolectores con 86 rutas distintas; donde las rutas de recolección establecidas por el municipio no fueron proporcionadas y por tanto no se pudo realizar la comparación para medir la mejoría.

## **CAPÍTULO 5.**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

1. Por medio de un Algoritmo Genético con un criterio Elitista, implementado en NetBeans, se logró definir rutas para la recolección y transporte de residuos sólidos domiciliarios ubicados en los contenedores soterrados de carga vertical en el distrito de Bellavista estimando una reducción de:

- La Distancia Recorrida durante la recolección en 11.12 km (16.3% de la distancia de recolección inicial)

- La Distancia Recorrida durante el transporte en 3.36 km (1.8%, de la distancia de transporte inicial)

A nivel de Recolección y Transporte se estima una reducción del recorrido en 14.47 km (5.63% de la Distancia Recorrida para la Recolección y Transporte de residuos sólidos manejada por Maestranza inicialmente).

2. El Algoritmo Genético con criterio Elitista definido permitió establecer rutas, las cuales proyectaron un menor consumo de combustible: alrededor de 6.23 litros por día o su equivalente anual de 2274 litros. Dicha cantidad representa una mejoría de un 5.31% con respecto al consumo de combustible inicial.
3. La cantidad estimada de ahorro en litros de combustible mediante las nuevas rutas propuestas para la recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito de Bellavista-Callao permitirá un ahorro estimado de S/. 19.75 soles diarios o su equivalente anual de S/. 7210 soles.

## **5.2. Recomendaciones**

1. Para la determinación de rutas dinámicas basadas en la demanda diaria se recomienda la instalación de sensores inalámbricos en los contenedores soterrados, los cuales permitirán medir el volumen de llenado por contenedor en tiempo real, de esta manera se podrá asignar a la ruta del vehículo del camión recolector los contenedores soterrados críticos que se encuentren en una proximidad sin sobrepasar la capacidad del vehículo, para esto se necesitaría una versión ejecutable del Algoritmo Genético la cual podría ser implementada en la Web con uso de internet, o bien una versión ejecutable “.exe” sin la necesidad del acceso a internet pero si con acceso a mapas.
2. Para disminuir aún más la cantidad de combustible consumido durante la recolección y transporte de los residuos sólidos se recomienda la determinación de nuevos sectores variables los cuales se determinen según



nivel de llenado de cada contenedor y proximidad, asumiendo que se tienen sensores para realizar tal medición de llenado de contenedor en tiempo real, y evaluando cercanía entre contenedores y asignación de prioridades.

3. La disminución de los costos asociados a consumo de combustible está relacionada tanto con el tiempo de ralentí como la distancia recorrida durante la recolección y transporte de los residuos sólidos, pero también con el mantenimiento respectivo del vehículo recolector. Por tanto, se debería estudiar los planes de mantenimiento y la periodicidad de estos para evitar un excesivo uso de combustible por parte del motor.

## Referencias Bibliográficas

- Alonso Revenga, J. M. (2008). *Flujo en Redes y Gestión de Proyectos. Teoría y Ejercicios Resueltos*. La Coruña, España: Netbiblo.  
[https://books.google.com.pe/books?id=UQpy6PGbo9MC&pg=PA42&source=gbs\\_toc\\_r&cad=4#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=UQpy6PGbo9MC&pg=PA42&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false)
- Alvarado Marambio, J. T. (2019). *Estructuras Fundamentales Concretas*. *Manuscrito*, 42(1), 121-168. <https://doi.org/10.1590/0100-6045.2019.v42n1.ja>
- Álvarez Nuñez, M. F., & Parra Muñoz, J. A. (2013). *Teoría de Grafos*. (Seminario para optar al título de profesor de enseñanza media en Educación Matemática). Universidad del Bio-Bio, Chillán, Chile.  
[http://repopib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1953/3/Alvarez\\_Nunez\\_Marcelino.pdf](http://repopib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1953/3/Alvarez_Nunez_Marcelino.pdf)
- American Psychological Association. (2010). *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association* (6 ed.). (M. G. Frías, Trad.) México, México: El Manual Moderno.
- Antón Bernal, J. M. (2018). *Desarrollo de un planificador de rutas para recojo de desechos sólidos en el distrito de Chiclayo utilizando algoritmo de DIJKSTRA*. Repositorio digital de la Universidad Señor de Sipán:  
<http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/4666?show=full>

- Arbaiza Fermini, L. (2014). *Como elaborar una Tesis de Grado*. Lima, Perú: ESAN Ediciones.
- Arellano Vázquez, M. (2010). *Estudio de algoritmos de ruteo considerando restricciones de tiempo real (tesis de maestría)*. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México.  
[http://zaz.iimas.unam.mx/~hector/archivos/tesis\\_magali.pdf](http://zaz.iimas.unam.mx/~hector/archivos/tesis_magali.pdf)
- Arranz de la Peña, J., & Parra Truyol, A. (2007). *Algoritmos Genéticos*. Departamento de Ingeniería Telemática - UC3M:  
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/06-07/05.pdf>
- Betanzo Quezada, E., Torres Gurrola, M. Á., Romero Navarrete, J. A., & Obregón Biosca, S. A. (2016). *Evaluación de rutas de residuos sólidos urbanos con apoyo de dispositivos de rastreo satelital: Análisis e implicaciones*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(3), 323-337.  
<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/download/RI-CA.2016.32.03.07/46590>
- Brito, D., Marín, L., & Ramírez, H. (2018). *Ciclos Hamiltonianos que pasan a través de un bosque lineal en grafos bipartidos balanceados*. *Teoría y Aplicaciones*, 25(2). 347-365.  
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/matematica/article/view/33908/34178>

- Cabrera Cuevas, A. M. (2018). *Método de solución de ruta entre ciudades para reparto de muestras*. Repositorio Académico Digital de la Universidad Autónoma de Nuevo León:  
<http://eprints.uanl.mx/16280/1/1080290249.pdf>
- Cardona, M. J., Castrillón, O. D., & Tinoco, H. A. (2017). *Determinación del Método Óptimo de Operaciones de Ensamble Bimanual con el Algoritmo de Dijkstra (o de Caminos Mínimos)*. *Información Tecnológica*. 28(4), 125-134. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v28n4/art15.pdf>
- Carretero López, F. (2010). *Optimización global con algoritmos genéticos*. (trabajo final de carrera) Escola Politècnica Superior de Castelldefels. Barcelona, España.  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10314/memoria.pdf>
- Carvajal Pérez, R. N. (2011). *Un Algoritmo Genético Especializado en el Planeamiento de Redes de Distribución Parte I. Fundamentos Técnicos del Algoritmo*. *Ingeniería Energética*. 32 (1), 72-76.  
<https://www.redalyc.org/pdf/3291/329127746009.pdf>
- Coronel Brizio, H. F., Hernández Montoya, A. R., Jiménez Montaña, M. A., & Mora Forsbach, L. E. (2007). *Una prueba empírica de generadores de números pseudoaleatorios mediante un proceso de decaimiento exponencial*. *Revista Mexicana de Física*, 53(5), 350-357.  
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rmf/v53n5/v53n5a4.pdf>

Corral Sastre, A. (2018). *Desarrollo y Evaluación de Algoritmos Genéticos Multiobjetivo. Aplicación al problema del viajante (trabajo de grado)*.

Universitat Politècnica de València.

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/111512/Corral%20-%20Desarrollo%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20Algoritmos%20Gen%C3%A9ticos%20Multiobjetivo.%20Aplicaci%C3%B3n%20al%20problema%20del%20viajante..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Correa Espinal, A. A., Cogollo Flórez, J. M., & Salazar López, J. C. (2011).

*Aplicación de la teoría de grafos en la solución de problemas con impacto ambiental. Producción + Limpia*, 6(1), 9-20.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552011000100002&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552011000100002&lng=en&tlng=es).

Coss Bu, R. (2003). *Simulación Un enfoque práctico*. EDITORIAL LIMUSA.

[https://www.academia.edu/4716814/Simulacion\\_Un\\_enfoque\\_Practico\\_Raul\\_COSS\\_Bu](https://www.academia.edu/4716814/Simulacion_Un_enfoque_Practico_Raul_COSS_Bu)

Duarte Duarte, J. B., & Mascareñas Pérez-Iñigo, J. M. (2014). *Comprobación de la eficiencia débil en los principales mercados financieros latinoamericanos. Estudios Gerenciales*. 30 (133), 365-375.

*Estudios Gerenciales*. 30 (133), 365-375.

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0123592314001375?token=52DB8244701EF97BDC93772BCDA38ECCC9992698DC59B80A069D9A6CD7D32C18908EC214EF8926CC63DEEF6C0B9BDD33&originRegion=us-east-1&originCreation=20220214132627>

El Peruano. (13 de Abril de 2014). *Normas legales*.

<https://busquedas.elperuano.pe/download/url/modifican-la-ordenanza-n-009-2012-cdb-que-aprobo-programa-d-ordenanza-n-005-2014-cdb-1073179-1>

Espinosa Téllez, E. G., Sánchez Rodríguez, O., & Orlando Bernal, J. (2016).

*Problema del agente viajero. Traveling Salesman Problem (TSP).*

*Ingeciencia*, 1(2), 57-65.

[Editorial.ucentral.edu.co/ojs\\_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/310/27](http://Editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/310/27)

7

Figueroa Bustos, M. (Noviembre de 2008). *Descripción de las etapas de*

*almacenamiento recolección y transporte de los residuos solidos en el*

*sistema de aseo urbano del municipio de Chinu - Córdoba. Cordoba,*

Universidad de Sucre. Colombia.

<https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/297/2/628.44F475.pdf>

Flores, C. D. (2004). *Acerca del análisis de funciones a través de sus gráficas:*

*concepciones alternativas de estudiantes de bachillerato. Revista*

*Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa, RELIME,*

7(3), 195-218.

Flores, P. (2014). *Algoritmos Genéticos, Series de Tiempo y funciones de*

*Transferencia*. Editorial Publicia.

Flores, P. (2014). *Algoritmos Genéticos, Series de Tiempo y funciones de*

*Transferencia [Figura]*. Editorial Publicia.

- Gerencia de Gestión Ambiental y Servicios a la Ciudad de la Municipalidad  
Distrital de Bellavista. (2021). *Diagnóstico de Recolección de Residuos  
Sólidos Municipales*. Bellavista, Callao.
- Gestal, M. (s.f.). *Selección por Torneo [Blog Post]*.  
<http://sabia.tic.udc.es/mgestal/cv/AAGGtutorial/node11.html>
- Gómez Fuentes, M., & Cervantes Ojeda, J. (2014). *Introducción al Análisis y al  
diseño de algoritmos*. México D.F.: Publidisa Mexicana S. A. de C.V.  
[http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/Notas\\_Analisis\\_Algoritmo  
sVF.pdf](http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/Notas_Analisis_Algoritmo_sVF.pdf)
- Gracia, M., Mar-Ortiz, J., & Laureano Casanova, O. (2015). Análisis  
computacional de los problemas del vendedor viajero y patrones de  
corte. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 16(1), 59-70.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-  
77432015000100006&Ing=es&tIng=es.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432015000100006&Ing=es&tIng=es)
- Grosso de la Vega, R. (2017). *Optimización Sostenible y Gestión Eficiente de  
Flotas Urbanas*. (tesis doctoral). Universidad de Sevilla, Sevilla, España.  
[https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/60383/Tesis%20RGV\\_V3.1\\_20  
17.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/60383/Tesis%20RGV_V3.1_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gutiérrez Araya, M. E. (c.2017). *Capítulo 3. Métodos para probar números  
aleatorios*. [https://hemaruce.angelfire.com/Unidad\\_III.pdf](https://hemaruce.angelfire.com/Unidad_III.pdf)
- Hermitaño Mendoza, M. Y. (2019). *Optimización de rutas para la recolección de  
residuos sólidos con uso de contenedores aplicando el Algoritmo Colonia*

*de Hormigas en la ciudad de Huaraz*. Repositorio Virtual de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo:  
[http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4056/T033\\_45951595\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4056/T033_45951595_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Hincapié, R. A., Ríos Porras, C. A., & Gallego, R. A. (2004). *Técnicas Heurísticas Aplicadas al problema del cartero viajante (TSP)*.  
<https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7279/4311>
- Idrobo, E. A., Santos Santos, N., & Pérez Vega, H. H. (2005). Aplicación de algoritmos genéticos como herramienta de optimización en la ubicación de pozos de desarrollo y en el trazado de los canales en yacimientos de depositación fluvial. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 3(1), 139-149.  
<http://www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v3n1/v3n1a11.pdf>
- Iglesias Otero, M. T. (2013). *La estadística en los algoritmos genéticos: El Teorema de los Esquemas*. Sociedade Galega para a Promoción da Estatística e da Investigación de Operacións (SGAPEIO): 1
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales, 2020*.  
[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1760/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1760/libro.pdf)
- Izquierdo, J. (2020). *Puntos Críticos de acumulación de basura en el año 2019* [Infografía]. <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/surco-puede-un-alcalde-ser-denunciado-por-no-recoger-basura-petramas-noticia/>



La República. (10 de Septiembre de 2013). Bellavista instalará 100

contenedores subterráneos de basura. *La República*, págs.

[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:fDjL\\_mvIhQM](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:fDjL_mvIhQM)

J:<https://larepublica.pe/sociedad/737528-bellavista-instalara-100->

[contenedores-subterraneos-de-basura/+&cd=4&hl=es-](https://larepublica.pe/sociedad/737528-bellavista-instalara-100-)

[419&ct=clnk&gl=pe.](https://larepublica.pe/sociedad/737528-bellavista-instalara-100-)

Larrañaga, P., Kuijpers, C., Murga, R., Inza, I., & Dizdarevic, S. (1999). *Genetic*

*Algorithms for the Travelling Salesman Problem: A Review of*

*Representations and Operators*. *Artificial Intelligence Review*, 13. 129-

130.

[https://www.researchgate.net/publication/226665831\\_Genetic\\_Algorithms](https://www.researchgate.net/publication/226665831_Genetic_Algorithms)

[\\_for\\_the\\_Travelling\\_Salesman\\_Problem\\_A\\_Review\\_of\\_Representations](https://www.researchgate.net/publication/226665831_Genetic_Algorithms)

[\\_and\\_Operators](https://www.researchgate.net/publication/226665831_Genetic_Algorithms)

Learmonth, G. P., & Lewis, P. A. (1973). *Statistical tests of some widely used*

*and recently proposed uniform random number generators*. Naval

postgraduate school monterey CA.

<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD0773747.pdf>

León Martínez, Y., & Quispe Puma, A. (2019). *Mejoramiento del Sistema de*

*recojo de residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo - Cusco 2018*.

Repositorio virtual de la Universidad Andina del Cusco:

[http://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/UAC/2791/1/Yovany\\_Aderly\\_T](http://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/UAC/2791/1/Yovany_Aderly_T)

[esis\\_bachiller\\_2019.pdf](http://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/UAC/2791/1/Yovany_Aderly_T)

- López Guevara, R. (2009). *Minimización del ancho de banda de matrices simétricas dispersas aplicando algoritmos genéticos*. (tesis de maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Lopez, C. A., Mendoza V., J. A., & Cuartas, E. (2008). *Algoritmo para la exploración de todos los valores posibles en el problema del agente viajero (TPS)*. *Scientia et Technica*, 2(39), 399-403.  
<https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/3257/1793>
- Maguiña Agurto, L. L. (2016). *Implantación de VRP - Solver aplicando la heurística de Clarke Wright para el ruteo del transporte terrestre en el área de distribución caso de estudio: industrias alimentarias*. Cybertesis UNMSM:  
[https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/5954/Maqui%c3%b1a\\_al.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/5954/Maqui%c3%b1a_al.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Maldonado, C. E. (2013). *Un problema fundamental en la investigación: Los problemas P vs. NP*. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 4(2), 10-20 .  
<https://www.redalyc.org/pdf/5177/517751544002.pdf>
- Manual de Soporte Técnico de Minitab 18. (s.f.). *LBQ para Autocorrelación*.  
<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/time-series/how-to/autocorrelation/interpret-the-results/lbq/#:~:text=El%20estad%C3%ADstico%20Q%20de%20Ljung,no%20es%20igual%20a%200.>

Marcelo Villalobos, R. (2014). *Fundamentos de Programación Java*. Lima, Perú: Editorial Macro.

Márquez Córtes, F. J., Rodríguez Vázquez, K., & Garro Licón, B. A. (2019).

*Diseño de rutas de recolección utilizando el algoritmo de optimización por colonia de hormigas*. Revista del Centro de Investigación de la Universidad La Salle, 13(52), 19-66.

<http://revistasinvestigacion.lasalle.mx/index.php/recein/article/view/1925/2594>

Melo Ospina, J. A. (2011). *Una métrica sobre grafos ponderados como medida de similitud molecular*.

[https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10867/jennyadriana\\_meloospina.2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10867/jennyadriana_meloospina.2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Meza H., O., & Ortega F., M. (2004). *Grafos y Algoritmos*.

[http://gecousb.com.ve/guias/GECO/Algoritmos%20y%20Estructuras%203%20\(CI-2613\)/Material%20Te%C3%B3rico%20\(CI-2613\)/CI-2613%20Grafos%20y%20Algoritmos.pdf](http://gecousb.com.ve/guias/GECO/Algoritmos%20y%20Estructuras%203%20(CI-2613)/Material%20Te%C3%B3rico%20(CI-2613)/CI-2613%20Grafos%20y%20Algoritmos.pdf)

Ministerio de Economía y Finanzas. (2021). *Formato 9: Registro de cierre de inversión*.

<https://ofi5.mef.gob.pe/invierte/informeCierre/consultaCierre/2192345>

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (12 de Enero de 2018). *Glosario de Términos de Uso frecuente en proyectos de Infraestructura Vial*.

Transparencia MTC Web Site:

[http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_4032.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_4032.pdf)

Ministerio del Ambiente - MINAM. (02 de Febrero de 2018). *Ministerio del Ambiente identifica 92 distritos que requieren tomar acciones para mejorar el manejo de residuos sólidos*. <http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/ministerio-del-ambiente-identifica-92-distritos-en-situacion-de-riesgo-por-manejo-de-residuos-solidos/>

Ministerio del Ambiente. (2019). *Guía para elaborar el Plan Provincial de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales*. Plataforma Digital Única del Estado Peruano:

[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/523784/Guia\\_Plan\\_provincial\\_gesti%C3%B3n\\_integral\\_rsm-29012020\\_\\_1\\_\\_1\\_.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/523784/Guia_Plan_provincial_gesti%C3%B3n_integral_rsm-29012020__1__1_.pdf)

Ministerio del Ambiente. (s.f.). *Parte 3. Reciclaje y disposición final segura de RESIDUOS SÓLIDOS*. Sistema Nacional de Información Ambiental: <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39052>

Moreno Parra, R. A. (2019). *Un Uso de algoritmos genéticos para búsqueda de patrones*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.

Municipalidad Distrital de Bellavista. (2016). *Plan de Gestión y Manejo de Residuos sólidos del distrito de Bellavista 2016-2021*.

<http://www.munibellavista.gob.pe/wp-content/uploads/2017/07/3.PGyMRS2016-2021con-plan-de-accion-y-presup..pdf>

Olmos Cervantes, A. A. (s.f.). *Generación de Números Pseudoaleatorios Eficientes en Microcomputadores*.

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/970/OLMOSCERVANTES.pdf?sequence=10>

Oré Luján, J. C. (2010). *Optimización de Sistemas de atención al cliente mediante el uso de algoritmos genéticos*. (Tesis de maestría).

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

OSWEGO State University of New York. (2002). *Biographical Sketches John Henry Holland*. Archivos digitales de OSWEGO :

<https://web.archive.org/web/20070311033435/http://www.cs.oswego.edu/~blue/hx/courses/cogsci1/s2001/section05/subsection5/main.html>

Paredes Aguirre, D. E. (2003). *Servicios de Localización sobre una infraestructura de telefonía celular (tesis de maestría)*. Instituto

Politécnico Nacional, México D.F., México.

<https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/7305/1/Tesis%209381.pdf>

Pérez de la Cruz, C. (2011). *Un algoritmo Híbrido para un problema de horarios con restricciones especiales*. (Tesis de grado de maestro). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4723/Tesis.pdf?sequence=1>

- Pérez Rave, J. I. (2011). *Heurística inspirada en el análisis sistémico del "Vecino más cercano", para solucionar instancias simétricas TSP, empleando una base comparativa multicriterio*. [Tesis para optar al título de Magister, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Colombia:  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8756/71225056.2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pulido Cayuela, M. A. (2008). Tema 1. Generación de Números Aleatorios.  
<https://webs.um.es/mpulido/miwiki/lib/exe/fetch.php?id=amio&cache=cache&media=wiki:simt1b.pdf>
- Quiroga, J., Cáceres, E., & Padilla, C. (2015). *Optimización de trayectorias de fresado en cavidades utilizando el algoritmo Luciérnaga*. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 30(1), 93-104:  
[http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652015000100010&lang=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652015000100010&lang=es)
- Ramírez, F. E. (2012). TEMA: *Pruebas sobre los números pseudoaleatorios*.  
<https://es.scribd.com/document/458615798/Prueba-Poker>
- Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la Lengua Española*. En R. A. Española, *Diccionario de la Lengua Española* (págs. 616, 1906, 2047). Barcelona: Espasa Libros, S.L.U. Avda. Diagonal.
- Restrepo C., J. H., & Sánchez C., J. J. (2004). *Aplicación de la Teoría de Grafos y el Algoritmo de Dijkstra para determinar las distancias y las rutas más*

*cortas en una ciudad*. Scientia Et Technica, 10(26), 121-126.

<https://www.redalyc.org/pdf/849/84911640021.pdf>

Restrepo López, J., & Rojas Paredes, A. (2016). *Teoría de la Complejidad y Heurísticas: El Problema de Asignación Cuadrática (QAP)*

<https://jcc.dcc.fceia.unr.edu.ar/2016/slides/2016-paredes-restrepo.pdf>

Rivas, C. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo de la República de Colombia. (2018). *Piensa un minuto antes de actuar: gestión integral de residuos sólidos [Diapositivas]*. Portal del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo de la República de Colombia:

<https://www.mincit.gov.co/getattachment/c957c5b4-4f22-4a75-be4d-73e7b64e4736/17-10-2018-Uso-Eficiente-de-Recursos-Agua-y-Energi.aspx>

Rivera Rodríguez, F. A. (2019). *Propuesta de rutas optimizadas para el recojo de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de Jauja en el año 2018*.

Repositorio virtual de la Universidad Continental, Huancayo:

[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/6132/2/IV\\_FIN\\_108\\_TE\\_Rivera\\_Rodriguez\\_2019.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/6132/2/IV_FIN_108_TE_Rivera_Rodriguez_2019.pdf)

Rodríguez Franco, H. (2011). *Cálculo de la visibilidad de conceptos en ontologías (tesis de maestría)*. Instituto Politécnico Nacional, México D.F., México.

<https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/5633/1/Tesis%2012495.pdf>

- Rodríguez Puente, R., & Lazo Cortés, M. S. (2014). *Algoritmo de reducción de grafos sin pérdida de información*. *Computación y Sistemas*, 18 (1), 185-194. <http://www.scielo.org.mx/pdf/cys/v18n1/v18n1a14.pdf>
- Rodríguez Villalobos, A. (7 y 9 de septiembre de 2006). *Grafos: herramienta informática para el aprendizaje y resolución de problemas reales de teoría de grafos* [Presentación de paper]. En *X Congreso de Ingeniería de Organización*. Valencia, España.  
<http://personales.upv.es/arodrigu/IDI/Grafos.pdf>
- Rodriguez, J. A., & Velasco, K. L. (2017). *Propuesta de Ruteo para la recolección de residuos sólidos en el Municipio de la Mesa, Cundinamarca*. Repositorio Institucional de Universidad Católica de Colombia:  
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15477/1/05-12-2017%20%20PROPUESTA%20DE%20RUTEO%20PARA%20LA%20RECOLECCION%20DE%20RESIDUOS%20SOLIDOS%20URBANOS%20EN%20EL%20MUNICIPIO%20DE%20LA%20MESA%20C%20CUNDINAMARCA%20%283%29%20%281%29.pdf>
- Rudolph, G. (1994). *Convergence Analysis of Canonical Genetic Algorithms*. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5(1), 96-101.  
[https://www.researchgate.net/publication/5583931\\_Convergence\\_analysis\\_of\\_canonical\\_genetic\\_algorithms](https://www.researchgate.net/publication/5583931_Convergence_analysis_of_canonical_genetic_algorithms)



Ruge, I. A., & Alvis, M. A. (2009). *Aplicación de los algoritmos genéticos para el diseño de un controlador PID adaptativo*. *Tecnura*, 13(25), 81-87.

<https://www.redalyc.org/pdf/2570/257020617008.pdf>

Ruohonen, K. (Marzo de 2013). *Graph Theory*.

[http://math.tut.fi/~ruohonen/GT\\_English.pdf](http://math.tut.fi/~ruohonen/GT_English.pdf)

Sanz Bodi, J. (2001). *Control de Procesos basado en eventos mediante Bases de Conocimiento Borrosas y Algoritmos Genéticos*. (tesis doctoral).

Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

<http://oa.upm.es/655/1/05200124.pdf>

Soporte de Minitab 18. (s.f.). Interpretar los resultados clave para la Prueba de corridas. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/nonparametrics/how-to/runs-test/interpret-the-results/key-results/>

Sucasaire Placencia, H. E. (2016). *Aplicación de simulación de sistemas con el software Arena para la mejora de la toma de decisiones en los servicios de ecografía de una clínica de Medical Images SAC en el distrito de Los Olivos en Lima Metropolitana*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].

<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/5973>.

Trujillo Murillas, H., Hurtado Gil, S. V., & Álvarez V, J. A. (2010). Algoritmos genéticos. Publicaciones Icesi No. 57. Repositorio Digital - Universidad ICESI:

[https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/2529/1/Algoritmos\\_geneticos.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/2529/1/Algoritmos_geneticos.pdf)

Vélez, M. C., & Montoya, J. A. (2007). *Metaheurísticos: una alternativa para la solución de problemas combinatorios en administración de operaciones*.

*Revista EIA*, (8), 99-115. <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n8/n8a09.pdf>

Vicario Medrano, B., Colodro Sabell, I., López Ruiz, J., Moratilla Ocaña, A., &

Fernández Vicente, E. (Enero de 2018). Optimal combination of

operators in Genetic Algorithms for VRP problems. *International Journal of Modern Research in Engineering and Technology*, 3(1), 75-82.

[https://www.academia.edu/35965917/Optimal\\_combination\\_of\\_operators\\_in\\_Genetic\\_Algorithms\\_for\\_VRP\\_problems](https://www.academia.edu/35965917/Optimal_combination_of_operators_in_Genetic_Algorithms_for_VRP_problems)

Villegas Flores, J. A., Zapata Grisales, C. J., & Gatica, G. (2017). *Una aplicación del método MTZ a la solución del problema del agente viajero*. *Scientia et Technica*, 22(4), 341-344.

Villegas Zermeño, J. (2005). *Comparación de tres modelos de Algoritmos Genéticos, un Algoritmo de Conteo y un Algoritmo Voraz a la información de 10 años de los rendimientos de 40 emisoras de la Bolsa Mexicana de Valores. [figura]*.

<https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/628278/33068000976018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Villegas Zermeño, J. C. (Febrero de 2005). *Comparación de tres modelos de Algoritmos Genéticos, un Algoritmo de Conteo y un Algoritmo Voraz a la*

*información de 10 años de los rendimientos de 40 emisoras de la Bolsa Mexicana de Valores (tesis de doctorado)*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Ciudad de México, México.

<https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/628278/33068000976018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Wayne, K. (2018). *Conferencias para el diseño de algoritmos*. Copyright © 2005

Pearson-Addison Wesley [Lecture slides that accompany the textbook Algorithm Design by Jon Kleinberg and Éva Tardos].

<https://www.cs.princeton.edu/~wayne/kleinberg-tardos/pdf/08IntractabilityII.pdf>

Wu, H., Tao, F., Qiao, Q., & Zhang, M. (2020). *A Chance-Constrained Vehicle*

*Routing Problem for WetWaste Collection and Transportation*

*Considering Carbon Emissions*. International journal of environmental research and public health, 17(2), 458.

<https://doi.org/10.3390/ijerph17020458>

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de Consistencia

**TITULO:** Reducción de Costos de Recolección y Transporte de Residuos Sólidos en Contenedores Soterrados aplicando Algoritmos Genéticos en determinación de rutas. Caso: Distrito Bellavista-Callao

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<b>PROBLEMA GENERAL</b> - ¿Cómo determinar rutas aplicando un Algoritmo Genético Elitista para reducir los costos de recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao?	<b>OBJETIVO GENERAL</b> Determinar rutas aplicando un Algoritmo Genético Elitista para reducir los costos de recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b> Mediante la aplicación de un Algoritmo Genético Elitista será posible determinar rutas que reduzcan los costos de recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao	<b>Independiente</b> Rutas  <b>Interviniente</b> Distancia asociada a la ruta.  <b>Dependiente</b> Costo de Recolección y Transporte de Residuos Sólidos en contenedores soterrados	<b>Tipo de Investigación</b> Básica  <b>Nivel de la Investigación:</b> Explicativo  <b>Diseño de investigación</b> Transversal, No experimental  <b>Enfoque de la investigación</b> Cuantitativo

<b>PROBLEMA ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>METODOLOGÍA</b>
<p>1. ¿Cómo determinar rutas que reduzcan el recorrido para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao?</p> <p>2. ¿Cómo disminuir el consumo de combustible necesario para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao?</p>	<p>1. Determinar rutas que reduzcan el recorrido para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao.</p> <p>2. Disminuir el consumo de combustible necesario para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao.</p>	<p>1. Mediante la aplicación de un Algoritmo Genético Elitista será posible determinar rutas que reduzcan el recorrido para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao.</p> <p>2. Mediante las nuevas rutas determinadas será posible disminuir el consumo de combustible necesario para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao.</p>	<p>Disminución en kilómetros recorridos</p> <p>Disminución en litros de Diesel utilizado.</p>	<p><b>Unidad de Análisis:</b> Una ruta</p> <p><b>Población de Estudio:</b> Total de Rutas del distrito</p> <p><b>Tamaño de Muestra:</b> Para los algoritmos consiste en el tamaño de subpoblación a evolucionar y es obtenido por experimentación, tomando un valor de 2000.</p> <p><b>Selección de la muestra:</b> Se seleccionan rutas construidas por medio de un generador de números pseudoaleatorios congruencial.</p>

<b>PROBLEMA ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>METODOLOGÍA</b>
3. ¿Cómo disminuir los costos por el consumo de combustible utilizado para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao?	3. Disminuir los costos por el consumo de combustible utilizado para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao.	3. Mediante las nuevas rutas determinadas será posible disminuir los costos por el consumo de combustible para la recolección y transporte de residuos sólidos de los contenedores soterrados del distrito de Bellavista-Callao	- Ahorro monetario por reducción de consumo de Diesel.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entrevista con personal de Maestranza y Subgerencia de Limpieza Pública del Municipio</li> <li>- Análisis de documentos: informes de estudios, Memoria Descriptiva, rutas y zonificación, etc.</li> <li>- Observación, consistió en validar: las ubicaciones de los contenedores soterrados, sentido de calles y nuevos desvíos</li> <li>- Análisis de información disponible en la web, por ser de acceso público.</li> </ul>

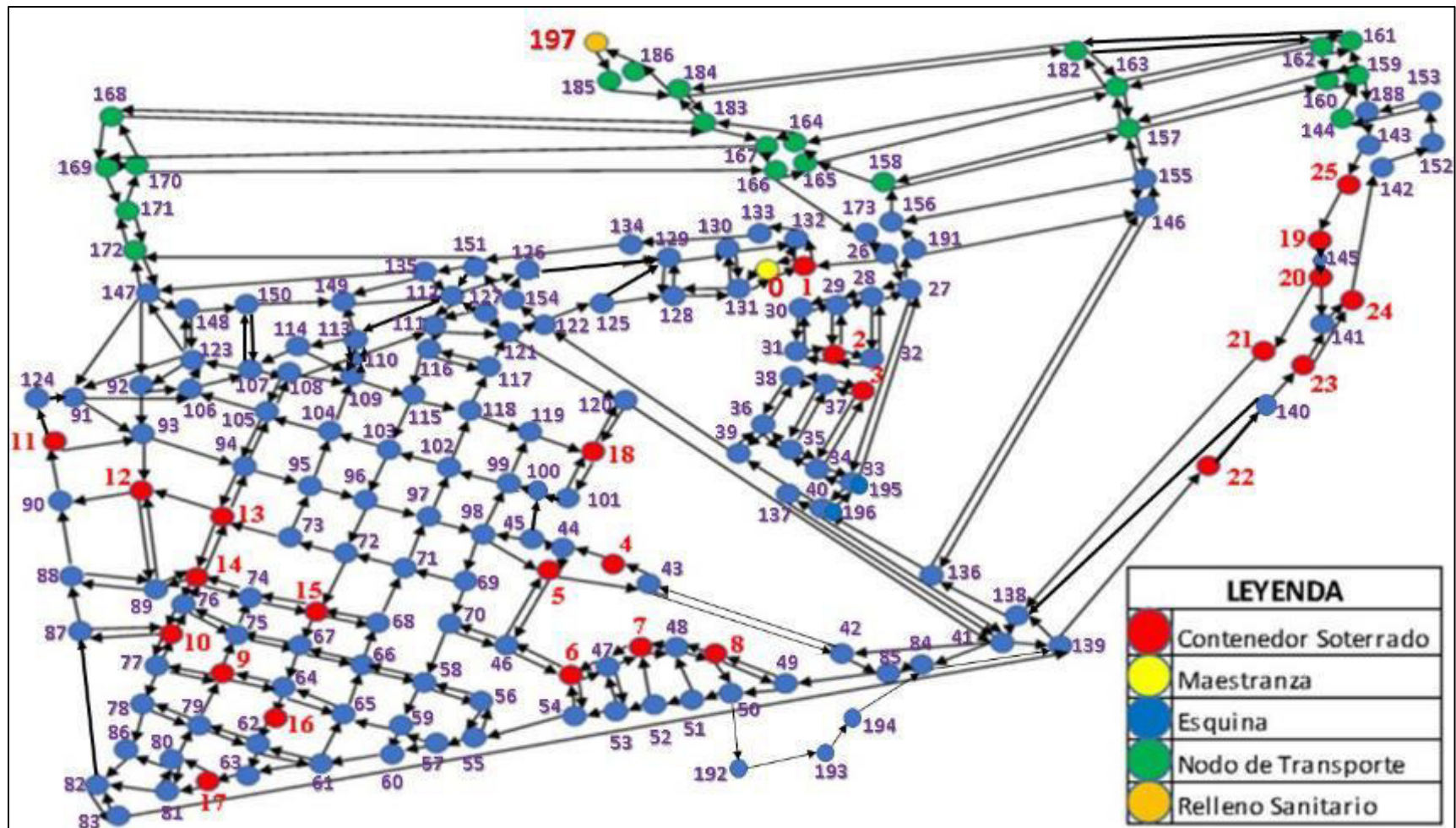
### Anexo 2. Matriz de Operacionalización de Variables

Variable	Tipo de Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Rutas	Independiente	<p>“Carretera definida entre dos puntos determinados, con origen, itinerario y destino debidamente Identificados” (Ministerio de Transporte del Perú [MTC], 2018, p.20).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recolección y validación de información: ubicación de contenedores soterrados.</li> <li>- Construcción Grafo Ponderado donde cada nodo representa una esquina de las calles.</li> <li>- Cálculo de distancia entre nodos adyacentes por GoogleMaps</li> <li>- Obtención de matriz Distancias Mínimas y matriz Listado de Caminos por software Grafos</li> <li>- Construcción de Rutas con la matriz de Listado de Caminos mediante la aplicación de Algoritmo Genético.</li> <li>- Análisis Comparativo de distancias entre las rutas determinadas para selección de la mejor.</li> </ul>	Distancia Recorrida	<p>Disminución de distancia recorrida</p> <p>% de mejoría de distancia recorrida</p>	<p>- Metros</p> <p>- %</p>

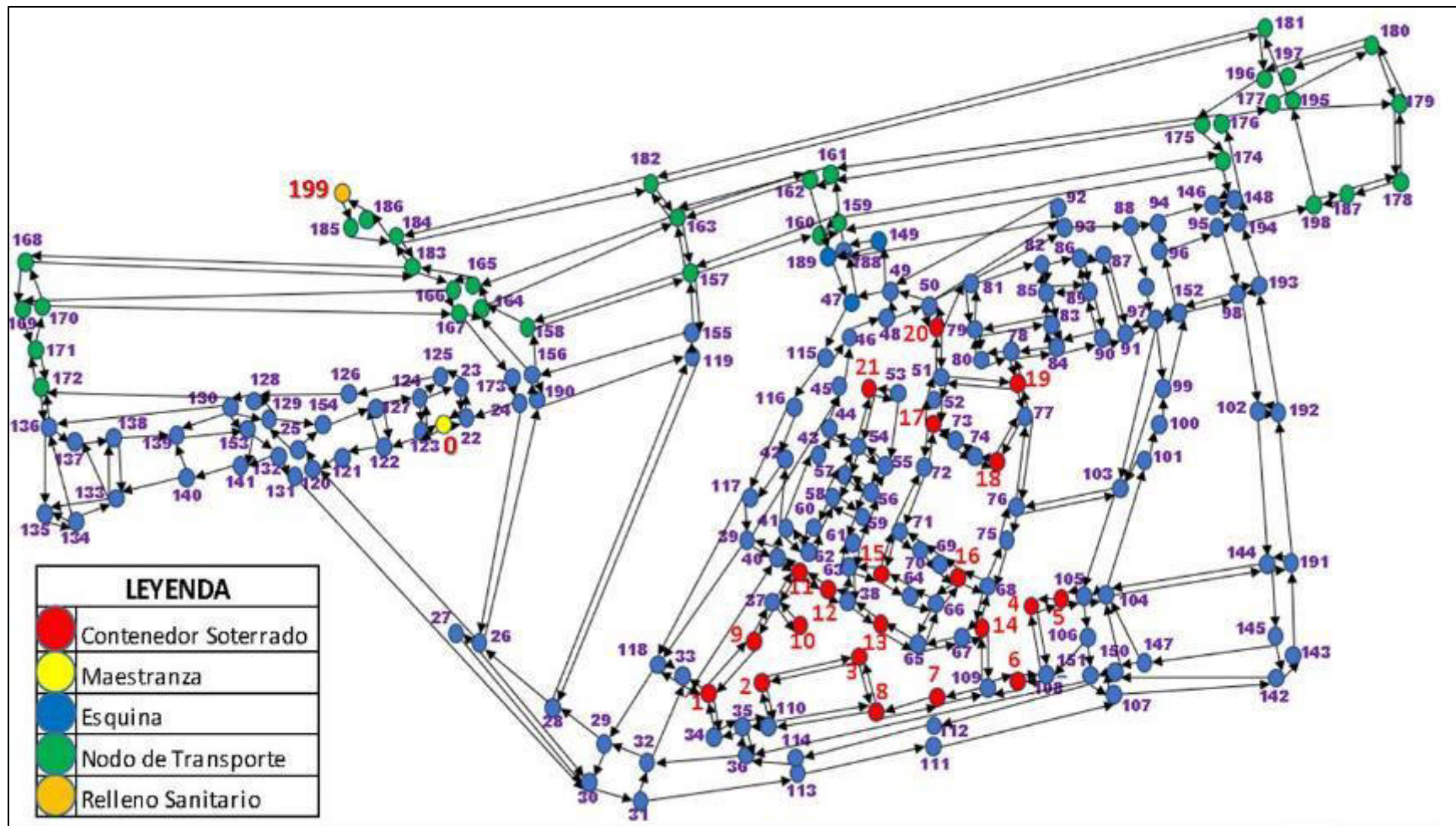
Variable	Tipo de Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Costos de Recolección y Transporte de Residuos sólidos	Dependiente	Figuroa (2018) define a dichas etapas como "(...) la parte medular de un sistema de aseo urbano y tiene como principal objetivo preservar la salud pública mediante la recolección de los desechos en los centros de generación y transportarlos al sitio de tratamiento o disposición final" (p.25).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entrevista e investigación para conocer costos y rendimiento estimado por galón.</li> <li>- Análisis comparativo de costo aproximado en combustible con la ruta vigente y costo aproximado de combustible con la nueva ruta propuesta</li> </ul>	- Combustible	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ahorro en combustible anual</li> <li>- % de mejoría de consumo de combustible</li> <li>- Valor monetario Ahorrado en Combustible anual</li> <li>- Valor Monetario Ahorrado en Combustible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- litros</li> <li>- %</li> <li>- Soles</li> <li>- %</li> </ul>



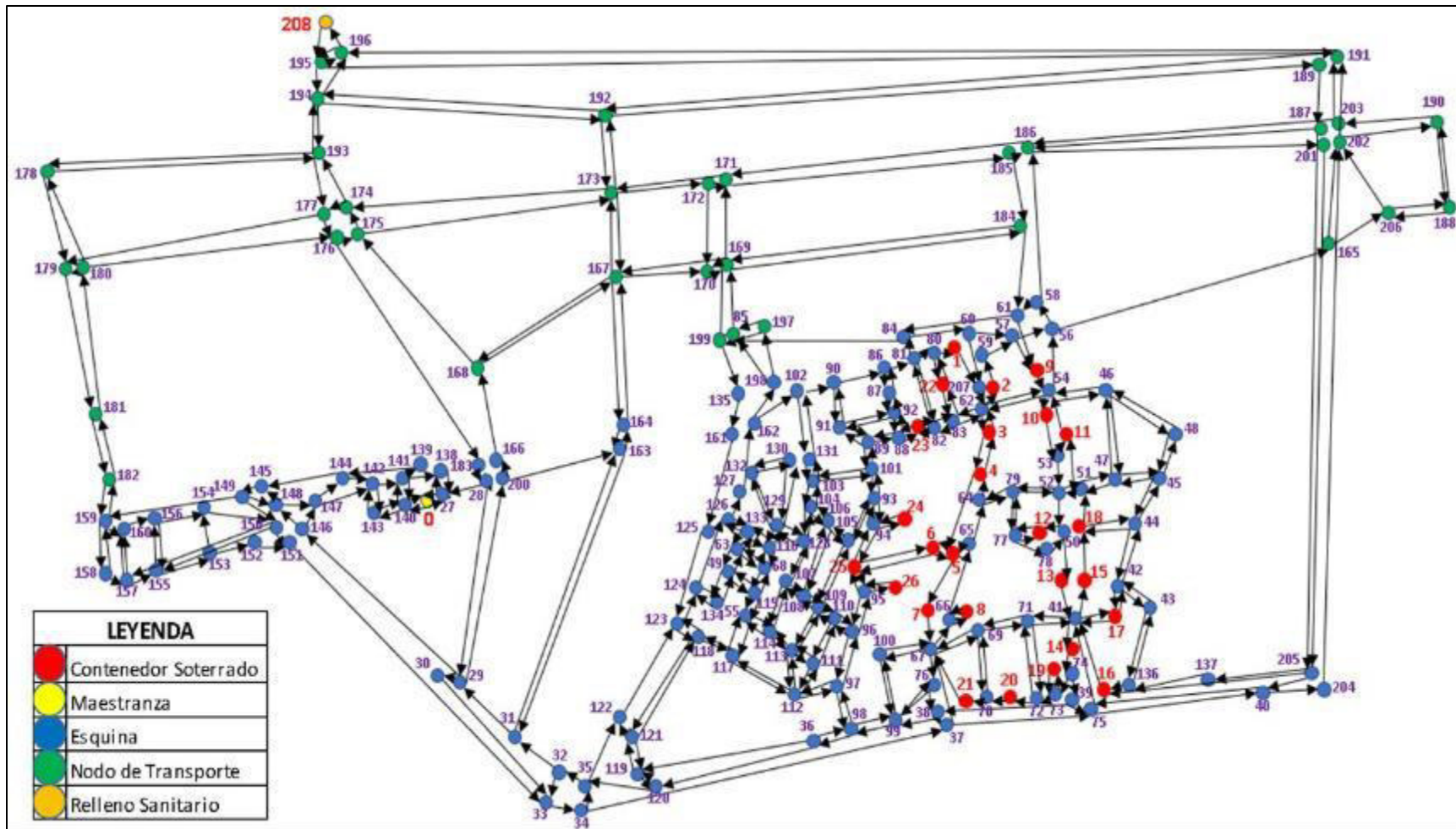
Anexo 3. Grafo Tipo 1 para Ruta G-01 para Aplicación de Algoritmo de Floyd Warshall



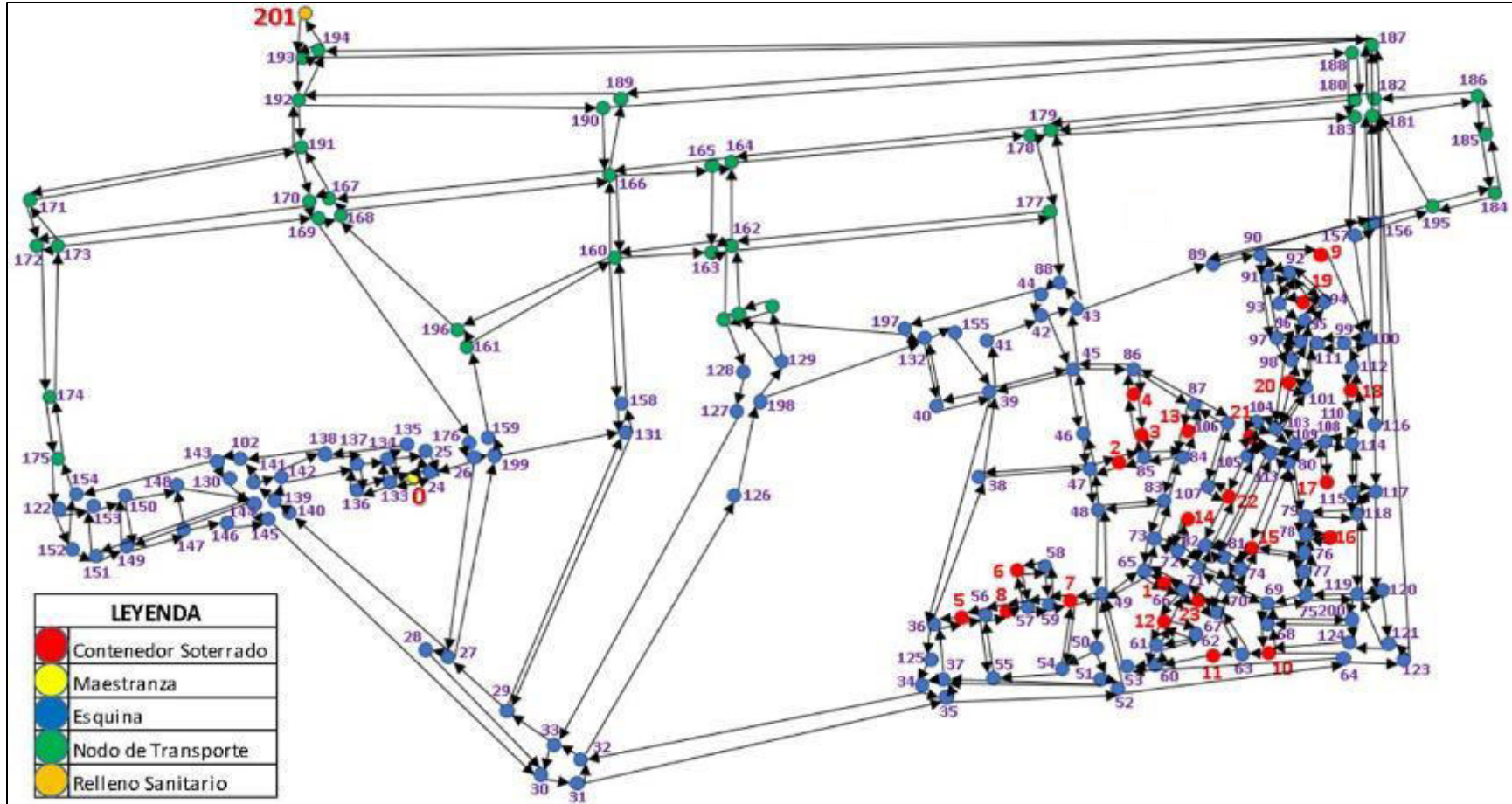
Anexo 4. Grafo Tipo 1 para Ruta G-02 para Aplicación de Algoritmo de Floyd Warshall



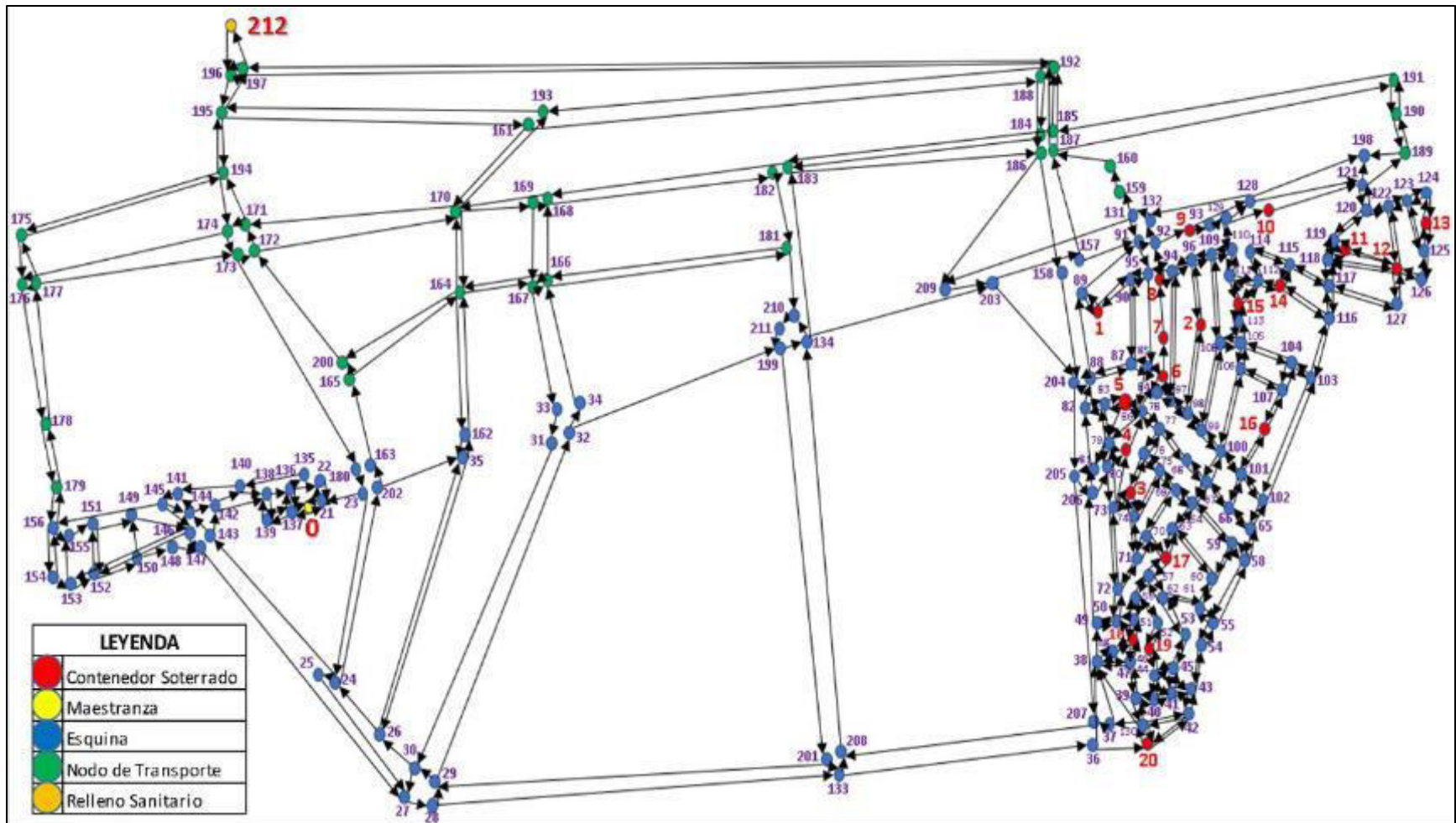
**Anexo 5.** Grafo Tipo 1 para Ruta G-03 para Aplicación de Algoritmo de Floyd Warshall



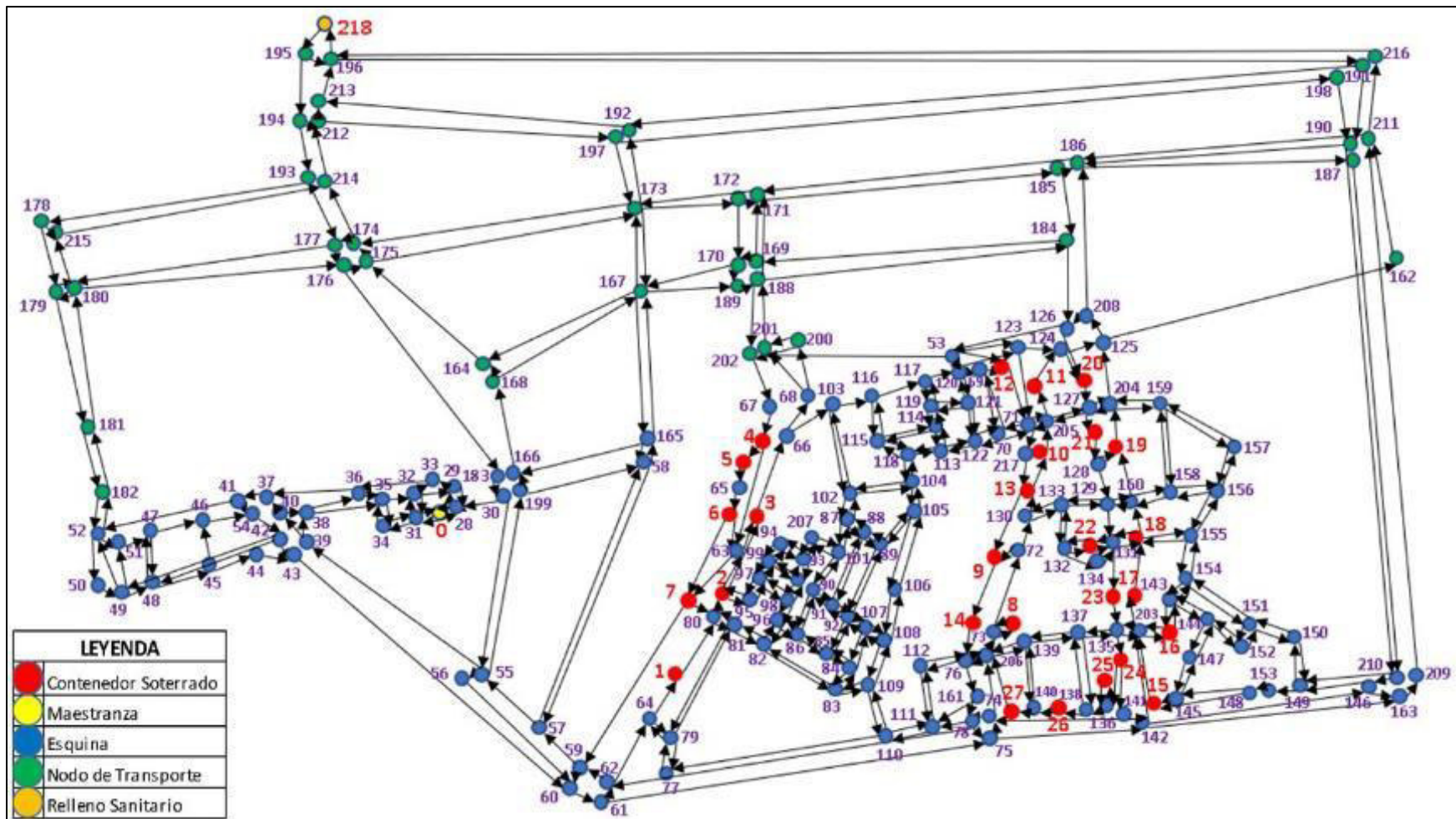
Anexo 6. Grafo de Tipo 1 para Ruta G-04 para Aplicación de Algoritmo de Floyd Warshall



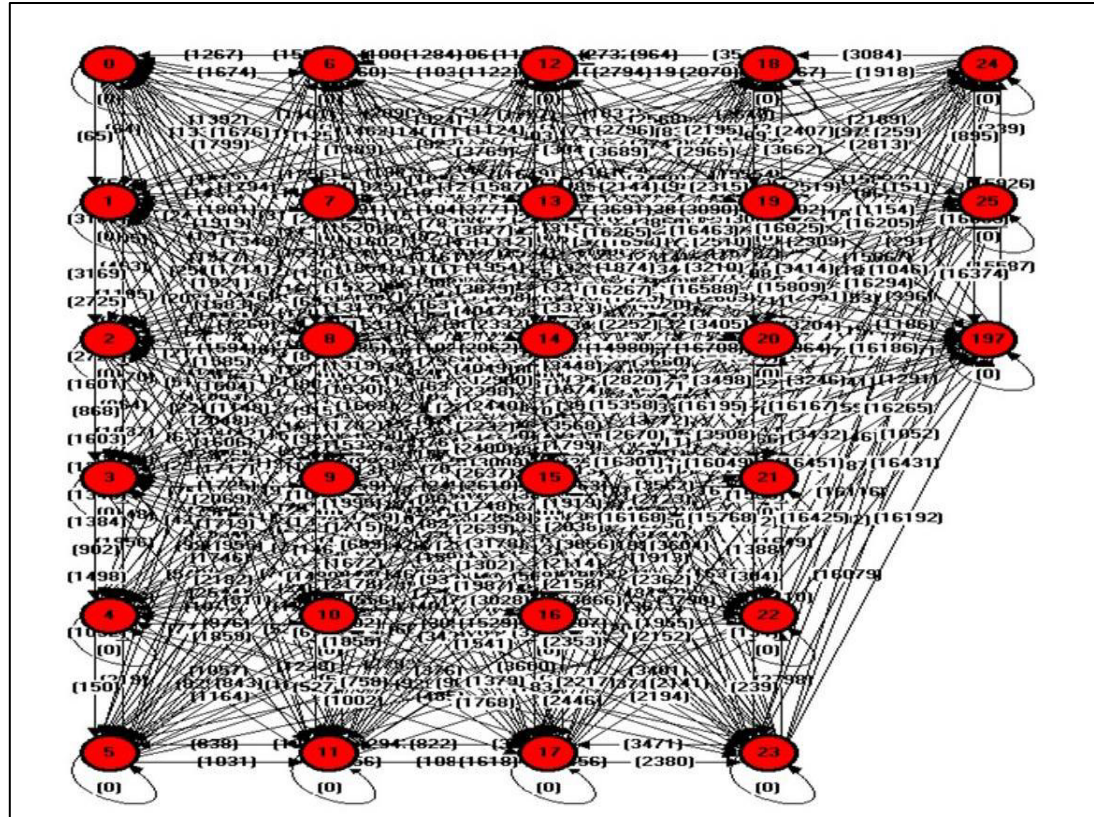
Anexo 7. Grafo Tipo 1 para Ruta G-05 para Aplicación de Algoritmo de Floyd Warshall



**Anexo 8.** Grafo Tipo 1 para Ruta G-06 para Aplicación de Algoritmo de Floyd Warshall



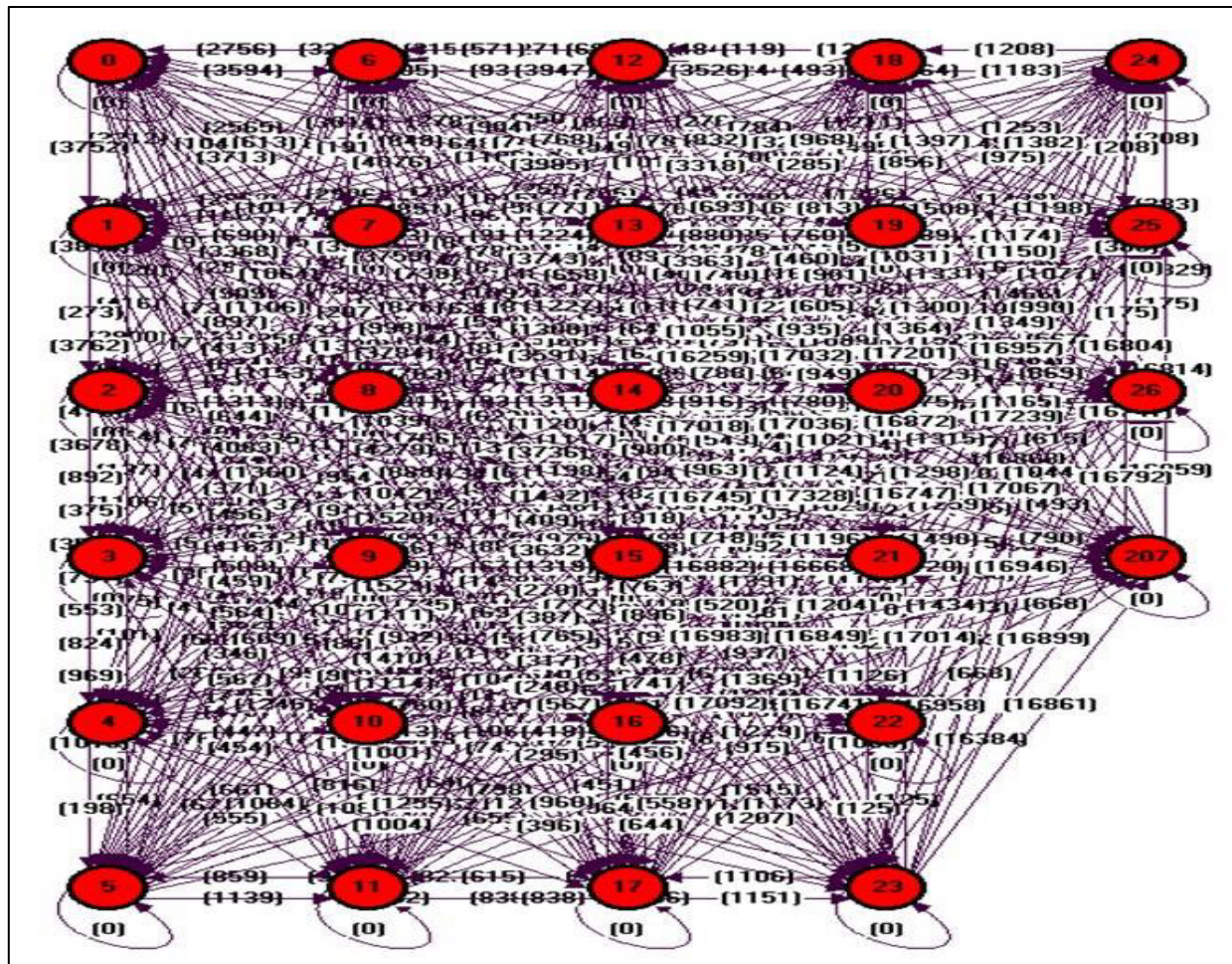
**Anexo 9.** Grafo Tipo 2 para Ruta G-01 para Aplicación del Algoritmo Genético con un Criterio Elitista



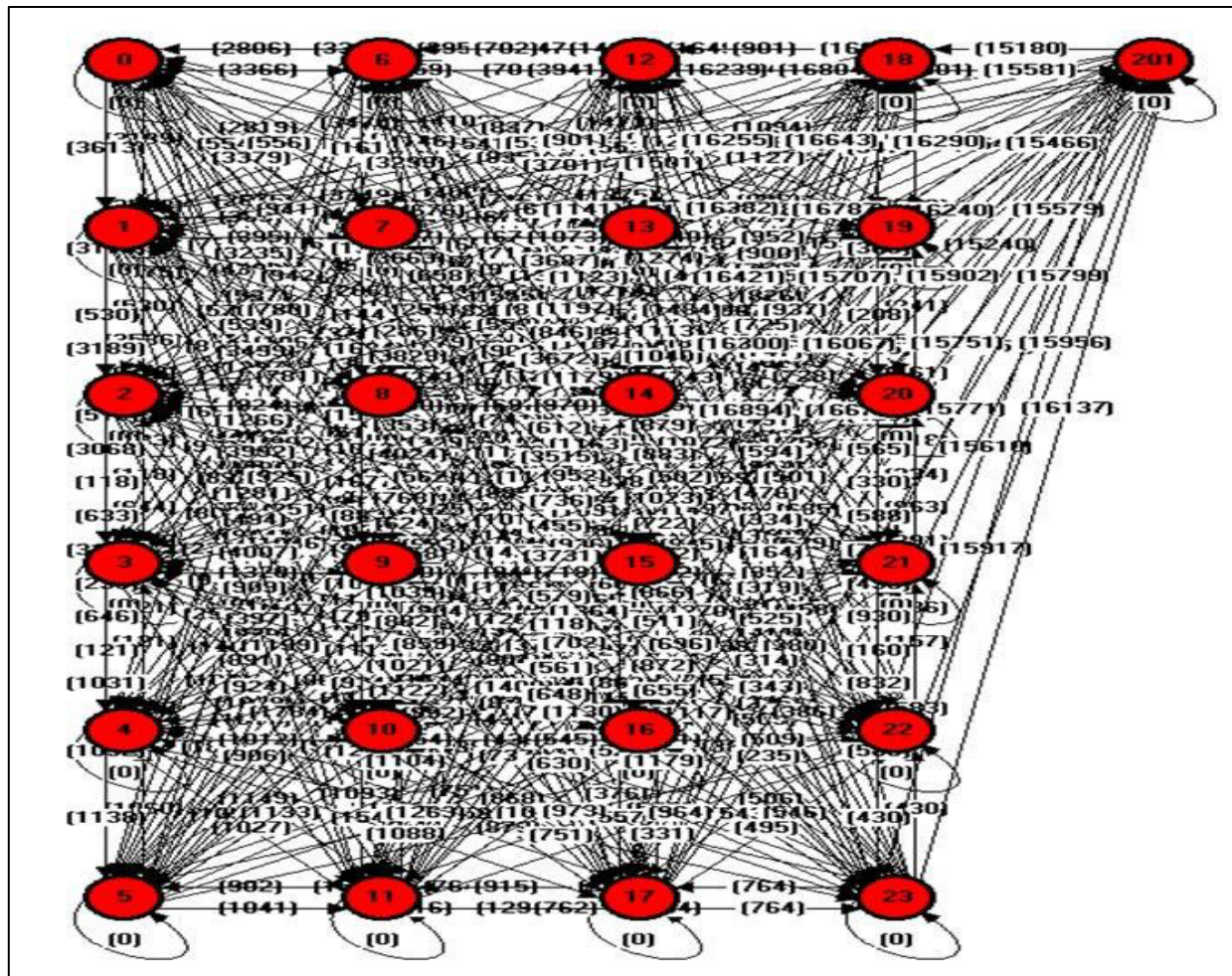




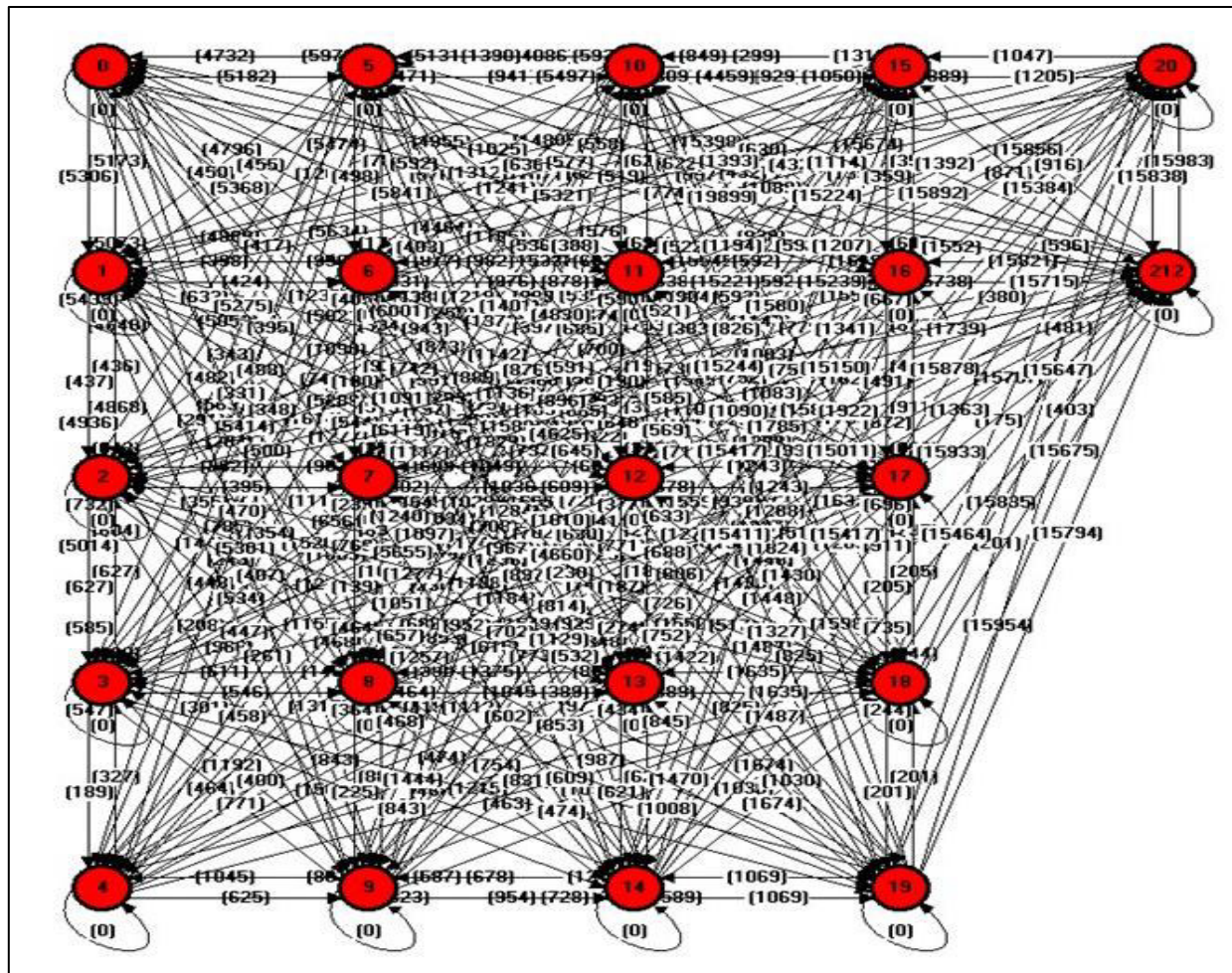
Anexo 11. Grafo Tipo 2 para Ruta G-03 para Aplicación del Algoritmo Genético con un Criterio Elitista



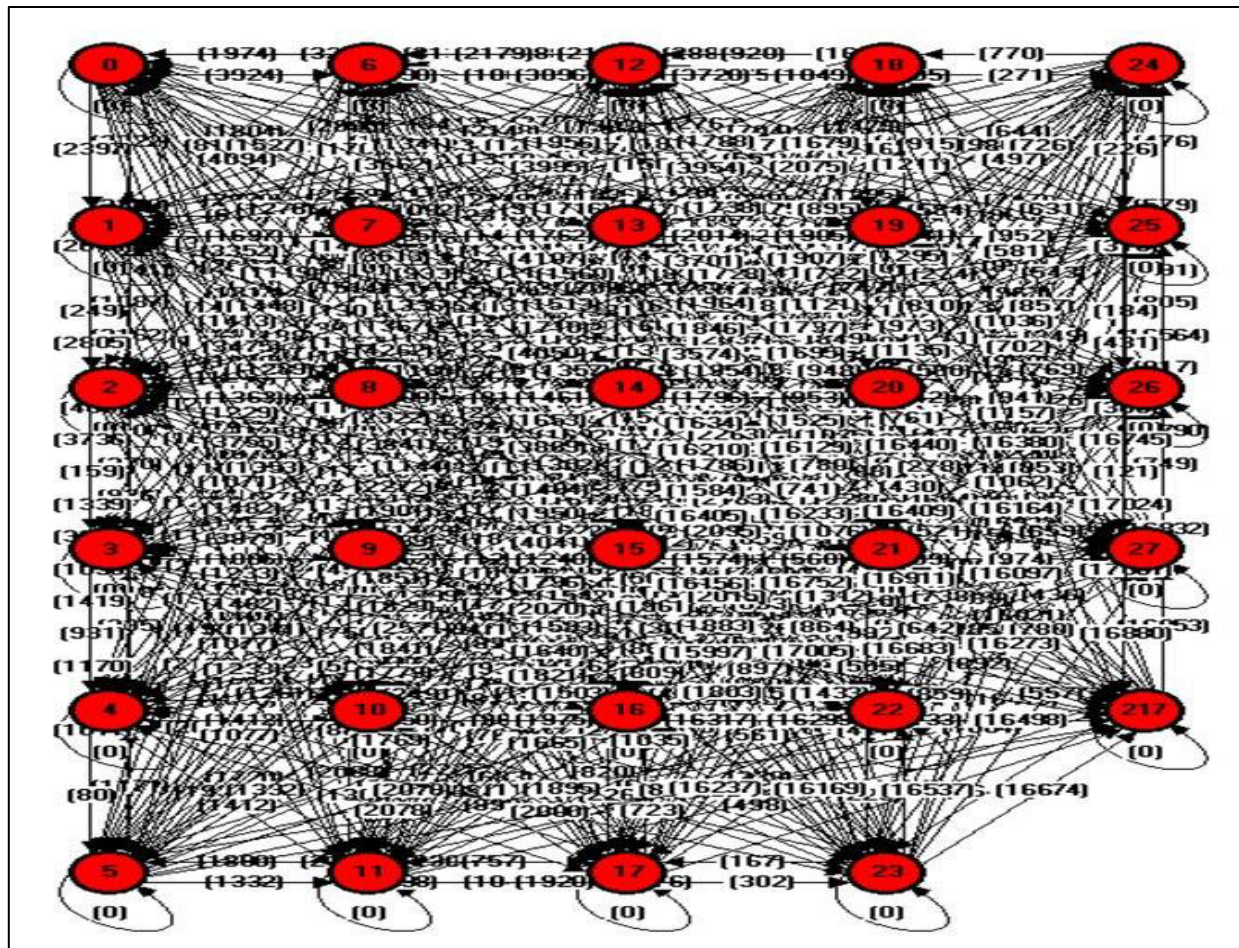
Anexo 12. Grafo Tipo 2 para Ruta G-04 para Aplicación del Algoritmo Genético con un Criterio Elitista



Anexo 13. Grafo Tipo 2 para Ruta G-05 para Aplicación del Algoritmo Genético con un Criterio Elitista



Anexo 14. Grafo Tipo 2 para Ruta G-06 para Aplicación del Algoritmo Genético con un Criterio Elitista



### Anexo 15. Matriz de Distancias Mínimas de Grafo Tipo 2 para Ruta G-01 para Aplicación del Algoritmo Genético Elitista

Origen /Fin	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	197
0	0	65	3167	2898	1601	1382	1674	1799	1919	1583	1604	1717	1460	1389	1520	1317	1530	1713	1122	3769	3877	4047	2398	2637	2794	3689	16265
1	64	0	3169	2900	1603	1384	1676	1801	1921	1585	1606	1719	1462	1391	1522	1319	1532	1715	1124	3771	3879	4049	2400	2639	2796	3691	16267
2	527	463	0	868	1348	1498	1794	1714	1594	2048	2069	2182	1925	1854	1985	1782	1995	2178	1587	1954	2062	2232	1748	1987	2144	1874	14980
3	905	841	864	0	902	1052	1348	1268	1148	1725	1746	1859	1602	1531	1662	1459	1672	1855	1112	2332	2440	2610	1302	1541	1698	2252	15358
4	1105	1170	2298	2029	0	150	446	571	691	955	976	1164	907	761	892	689	902	1002	448	2900	3008	3178	1529	1768	1925	2820	16301
5	972	1037	2148	1879	219	0	296	421	541	811	843	1031	774	628	759	556	758	856	315	2750	2858	3028	1379	1618	1775	2670	16168
6	1267	1332	2337	2068	514	295	0	125	245	692	804	1245	1031	923	783	631	639	709	610	2939	3047	3217	1568	1807	1964	2859	16463
7	1392	1457	2212	1943	639	420	125	0	120	817	929	1370	1156	1048	908	756	764	834	735	2814	2922	3092	1443	1682	1839	2734	16588
8	1512	1577	2092	1823	759	540	245	120	0	915	1049	1490	1276	1168	1028	876	862	932	855	2694	2802	2972	1323	1562	1719	2614	16586
9	1381	1446	2883	2614	998	779	1071	1196	1316	0	146	673	479	386	231	245	159	342	978	3485	3593	3763	2114	2353	2510	3405	16195
10	1341	1406	2976	2707	1048	829	1121	1246	1366	146	0	527	333	240	85	295	305	485	1028	3578	3686	3856	2207	2446	2603	3498	16049
11	1264	1329	2986	2717	1057	838	1130	1255	1375	741	595	0	263	436	511	721	900	1080	996	3588	3696	3866	2217	2456	2613	3508	15768
12	1504	1569	3140	2871	1211	992	1284	1409	1529	478	332	257	0	403	248	458	637	817	1191	3742	3850	4020	2371	2610	2767	3662	16025
13	1101	1166	2780	2511	851	632	924	1049	1169	385	239	403	146	0	155	365	544	724	831	3382	3490	3660	2011	2250	2407	3302	15809
14	1256	1321	2892	2623	963	744	1036	1161	1281	230	84	462	248	155	0	210	389	569	943	3494	3602	3772	2123	2362	2519	3414	15964
15	1136	1201	2682	2413	753	534	826	951	1071	266	287	665	451	358	203	0	213	396	733	3284	3392	3562	1913	2152	2309	3204	16167
16	1637	1702	2724	2455	1254	1035	1327	1452	1572	256	402	929	735	642	487	501	0	183	1234	3326	3434	3604	1955	2194	2351	3246	16451
17	1611	1676	2910	2641	1228	1009	1301	1426	1546	230	376	822	709	616	461	475	389	0	1208	3512	3620	3790	2141	2380	2537	3432	16425
18	1009	1074	2291	2022	1030	811	1103	1228	1348	1012	1033	1221	964	818	949	746	959	1142	0	2893	3001	3171	1522	1761	1918	2813	16205
19	2090	2026	2049	1780	1661	1811	1757	1632	1512	2322	2468	2825	2568	2422	2520	2350	2269	2339	2109	0	108	278	1666	412	259	1154	16294
20	1982	1918	1941	1672	1553	1703	1649	1524	1404	2214	2360	2717	2460	2314	2412	2242	2161	2231	2001	1126	0	170	1558	304	151	1046	16186
21	1812	1748	1771	1502	1383	1533	1479	1354	1234	2044	2190	2547	2290	2144	2242	2072	1991	2061	1831	1266	1374	0	1388	134	291	1186	16265
22	3461	3397	3420	3151	3032	3182	3128	3003	2883	3693	3839	4196	3939	3793	3891	3721	3640	3710	3480	1371	1479	1649	0	239	396	1291	16431
23	3222	3158	3181	2912	2793	2943	2889	2764	2644	3454	3600	3957	3700	3554	3652	3482	3401	3471	3241	1132	1240	1410	2798	0	157	1052	16192
24	3065	3001	3024	2755	2636	2786	2732	2607	2487	3297	3443	3800	3543	3397	3495	3325	3244	3314	3084	975	1083	1253	2641	1387	0	895	16035
25	2170	2106	2129	1860	1741	1891	1837	1712	1592	2402	2548	2905	2648	2502	2600	2430	2349	2419	2189	80	188	358	1746	492	339	0	16374
197	14777	14713	14854	15236	15716	15866	16162	16082	15962	16032	15886	15811	15554	15727	15802	16012	16191	16371	15837	15667	15775	15945	16116	16079	15926	15587	0

### Anexo 16. Matriz de Distancias Mínimas de Grafo Tipo 2 para Ruta G-02 para Aplicación del Algoritmo Genético Elitista

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	199
0	0	2259	2606	2891	3295	3349	3081	2949	2756	2425	2600	2636	2744	2862	3120	2870	3123	3148	3299	3385	3260	3178	16670
1	1460	0	347	632	1036	1103	822	690	497	166	341	377	485	603	861	611	864	918	1051	1155	1113	951	16349
2	1675	347	0	285	903	970	689	557	364	513	688	724	832	950	775	958	984	1265	1277	1319	1460	1298	16564
3	1960	632	285	0	699	766	485	353	160	798	973	1009	947	829	571	939	780	1147	1073	1115	1400	1288	16849
4	2355	1040	907	708	0	67	214	346	543	1206	1226	1030	940	822	564	932	773	1140	1066	1063	1393	1281	16965
5	2422	1107	974	775	67	0	281	413	610	1273	1293	1097	1007	889	631	999	840	1199	1047	996	1382	1348	16898
6	2141	826	693	494	214	281	0	132	329	992	1012	816	726	608	350	718	559	926	852	894	1179	1067	17030
7	2009	694	561	362	346	413	132	0	197	860	880	684	594	476	218	586	427	794	720	762	1047	935	16898
8	1825	497	364	165	539	606	325	193	0	663	838	874	787	669	411	779	620	987	913	955	1240	1128	16714
9	1626	166	513	798	1125	1192	911	856	663	0	175	211	319	437	695	445	698	752	885	989	951	785	16515
10	1801	341	688	973	1110	1177	896	898	838	175	0	196	304	422	680	430	683	737	870	974	936	770	16690
11	1837	377	724	1009	914	981	700	702	874	211	196	0	108	226	484	234	487	541	674	778	740	574	16726
12	1927	467	814	956	806	873	592	594	791	301	286	90	0	118	376	126	379	433	566	670	686	466	16816
13	2045	585	932	838	688	755	474	476	673	419	404	208	118	0	258	214	261	521	554	722	774	554	16926
14	2227	843	779	580	430	497	216	218	415	677	662	466	376	258	0	368	209	576	502	544	829	717	17116
15	2053	593	940	948	798	865	584	586	783	427	412	216	126	214	368	0	261	307	440	544	560	445	16826
16	2306	846	988	789	639	706	425	427	624	680	665	469	379	261	209	261	0	367	293	461	620	508	16980
17	2360	900	1247	1155	1005	1072	791	793	990	734	719	523	433	521	575	307	366	0	151	237	253	350	16822
18	2493	1033	1281	1082	932	954	718	720	917	867	852	656	566	554	502	440	293	152	0	213	405	487	16877
19	2597	1137	1323	1124	970	903	760	762	959	971	956	760	670	722	544	544	461	237	213	0	386	587	16664
20	2613	1153	1500	1408	1258	1289	1044	1046	1243	987	972	776	686	774	828	560	619	253	404	386	0	603	16661
21	2393	933	1280	1297	1147	1214	933	935	1132	767	752	556	466	554	717	445	508	350	501	587	603	0	16852
199	14809	16008	16355	16640	16819	16752	16769	16698	16505	16174	16265	16069	16177	16295	16553	16265	16419	16261	16412	16498	16354	16291	0

### Anexo 17. Matriz de Distancias Mínimas de Grafo Tipo 2 para Ruta G-03 para Aplicación del Algoritmo Genético Elitista

Origen /Fin	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	207
0	0	3752	3899	3762	3678	3576	3594	3713	3368	4131	4083	4163	3905	4076	3759	3784	4279	3856	3947	3985	3743	3591	3736	3632	3526	3318	3363	16259
1	3212	0	273	476	375	553	613	690	897	644	456	564	848	873	998	1039	1520	1111	768	1224	1308	1120	409	387	832	880	1055	17018
2	3049	416	0	892	791	969	1017	1106	1313	371	459	567	851	876	1001	1042	1523	1114	771	1227	1311	1432	270	248	693	741	916	16745
3	3120	463	137	0	824	1016	1064	1153	1360	508	346	454	738	763	888	929	1410	1001	658	1114	1198	1319	317	295	740	788	963	16882
4	2900	564	238	101	0	198	258	335	542	609	447	555	544	766	891	932	1413	1004	661	1117	975	765	418	396	751	543	718	16983
5	2702	1106	875	738	654	0	60	137	344	1246	1084	1139	881	1052	735	760	1255	832	923	961	777	567	960	838	553	345	520	17092
6	2756	1046	929	792	708	54	0	191	398	1300	1138	1193	935	1106	789	814	1309	886	977	1015	831	621	900	778	493	285	460	17032
7	2565	1064	738	601	517	415	475	0	207	1109	947	1002	744	915	598	623	1118	695	786	824	640	430	918	896	968	760	935	17036
8	2962	909	583	446	362	260	320	397	0	954	792	900	589	811	936	977	1458	1049	706	1162	1037	827	763	741	813	605	780	17328
9	2972	624	324	650	566	764	824	901	1108	0	88	196	480	505	630	671	1152	743	400	856	940	1061	478	456	901	949	1124	16668
10	3153	812	512	562	478	676	736	813	1020	619	0	108	392	417	542	583	1064	655	312	768	852	973	666	644	1089	1021	1196	16849
11	3045	704	404	745	661	859	919	996	1203	511	183	0	575	600	725	766	1247	838	495	951	1035	1156	558	536	981	1029	1204	16741
12	3213	860	534	397	313	511	571	648	855	905	643	460	0	349	474	515	996	587	244	700	784	905	714	692	1064	856	1031	17201
13	3014	1249	949	830	746	844	904	981	636	1056	728	545	433	0	125	166	661	238	329	351	435	556	1103	1081	1397	1189	1364	16872
14	2906	1537	1237	1118	1034	955	1015	1092	747	1344	1016	833	721	746	0	454	949	526	617	226	310	431	1391	1369	1508	1300	1475	16747
15	3306	1083	783	664	580	778	838	915	928	890	562	379	267	292	417	0	915	530	163	643	727	848	937	915	1331	1123	1298	17120
16	3140	1375	1075	956	872	970	1030	1107	762	1182	854	671	559	584	267	292	0	364	455	493	577	698	1229	1207	1523	1315	1490	17014
17	3084	1319	1019	900	816	914	974	1051	706	1126	798	615	503	528	211	236	527	0	399	437	521	642	1173	1151	1467	1259	1434	16958
18	3158	920	620	516	432	630	690	767	780	727	399	216	119	144	269	310	752	382	0	495	579	700	774	752	1183	975	1150	16957
19	2780	1478	1152	1015	931	829	889	966	621	1407	1079	896	784	809	492	517	1012	589	680	0	184	305	1332	1310	1382	1174	1349	17239
20	2596	1294	968	831	747	645	705	782	437	1339	1177	1000	888	913	596	621	1116	693	784	822	0	121	1148	1126	1198	990	1165	17067
21	2475	1173	847	710	626	524	584	661	316	1218	1056	1137	853	1050	733	758	1253	830	921	959	775	0	1027	1005	1077	869	1044	16946
22	2947	146	290	622	521	699	759	836	1043	525	473	581	865	890	1015	1056	1537	1128	785	1241	1325	1266	0	125	567	615	790	16899
23	2825	271	268	747	646	823	769	960	1167	639	451	559	843	868	993	1034	1515	1106	763	1219	1303	1390	125	0	445	493	668	16861
24	2717	713	713	1189	1088	538	484	675	882	1084	896	1004	1288	1313	1273	1298	1793	1370	1208	1499	1315	1105	567	445	0	208	383	16804
25	2509	761	761	1068	984	330	276	467	674	1132	944	1052	1211	1361	1065	1090	1585	1162	1253	1291	1107	897	615	493	208	0	175	16747
26	2554	936	936	1243	1159	505	451	642	849	1307	1119	1227	1386	1536	1240	1265	1760	1337	1428	1466	1282	1072	790	668	383	175	0	16792
207	14812	16287	16252	16578	16494	16692	16752	16829	17036	15928	16016	16124	16408	16433	16558	16599	16577	16671	16328	16784	16868	16989	16315	16384	16829	16814	16859	0

**Anexo 18. Matriz de Distancias Mínimas de Grafo Tipo 2 para Ruta G-04 para Aplicación del Algoritmo Genético Elitista**

Origen /Fin	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	201
0	0	3613	3173	3189	3068	3128	3366	3379	3235	3499	3992	4007	3759	3299	3663	3829	4024	4058	3941	3701	3687	3672	3515	3731	16239
1	3189	0	530	512	633	646	556	395	539	1266	494	397	146	407	286	353	624	882	901	1073	846	612	455	118	16255
2	3503	530	0	118	239	1031	941	780	924	1281	909	924	676	259	580	768	1039	1122	1141	1197	970	736	579	648	16382
3	3575	512	118	0	121	1032	942	781	925	1320	891	906	658	241	562	750	1021	1104	1123	1179	952	718	561	630	16421
4	3536	633	239	121	0	1138	1063	902	1046	1199	1012	1027	779	329	683	859	1054	1088	1107	1163	936	702	545	751	16300
5	2568	644	821	939	1060	0	238	251	107	1784	1133	1041	790	925	804	992	1263	1516	1535	1591	1364	1130	973	762	16894
6	2806	554	731	849	970	238	0	161	131	1694	1043	951	700	835	714	902	1173	1426	1445	1501	1274	1040	883	672	16804
7	2819	393	570	688	809	251	161	0	144	1533	882	790	539	674	553	741	1012	1265	1284	1340	1113	879	722	511	16643
8	2675	537	714	832	953	107	131	144	0	1677	1026	934	683	818	697	885	1156	1409	1428	1484	1257	1023	866	655	16787
9	4390	1297	1467	1449	1419	1847	1757	1596	1740	0	1113	1267	1343	1208	1191	944	804	737	442	743	502	712	872	1179	15707
10	3279	449	914	896	1017	1056	966	805	949	1265	0	154	495	791	484	376	436	873	859	1072	845	696	571	331	16067
11	3126	516	919	1028	1149	902	812	651	795	1690	910	0	370	923	802	769	1040	1298	1317	1497	1270	1117	964	534	16671
12	3335	146	676	658	779	792	702	541	685	1320	540	443	0	553	432	399	670	928	947	1127	900	747	594	164	16301
13	3470	407	259	241	329	927	837	676	820	1145	786	801	553	0	457	645	843	877	896	952	725	491	334	525	16290
14	3349	286	580	562	683	806	716	555	699	1130	479	494	432	457	0	338	609	862	881	937	710	476	319	343	16240
15	3512	353	768	750	861	994	904	743	887	921	371	386	399	645	338	0	271	529	548	728	501	352	314	235	15902
16	3710	613	1028	1010	1056	1254	1164	1003	1147	949	431	585	659	845	598	260	0	557	543	756	529	380	509	495	15751
17	4041	882	1141	1123	1093	1521	1431	1270	1414	878	868	915	928	882	865	529	557	0	295	685	458	386	546	764	15771
18	3950	855	1160	1142	1112	1496	1406	1245	1389	740	671	825	901	901	840	502	362	295	0	547	306	405	565	737	15581
19	4106	1043	1183	1165	1135	1563	1473	1312	1456	321	1034	1081	1094	924	907	695	723	652	671	0	208	428	588	930	15466
20	4008	945	1085	1067	1037	1465	1375	1214	1358	434	936	983	996	826	809	597	625	554	573	241	0	330	490	832	15579
21	3678	615	755	737	707	1135	1045	884	1028	654	694	737	750	496	479	355	383	386	405	461	234	0	160	586	15799
22	3518	455	595	577	547	975	885	724	868	811	566	581	594	336	319	314	509	543	562	618	391	157	0	430	15956
23	3307	118	648	630	751	764	674	513	657	1156	376	279	164	525	343	235	506	764	783	963	736	583	430	0	16137
201	14789	16035	16205	16187	16146	16585	16495	16334	16478	15674	15851	16005	16081	15946	15929	15682	15542	15475	15180	15481	15240	15450	15610	15917	0

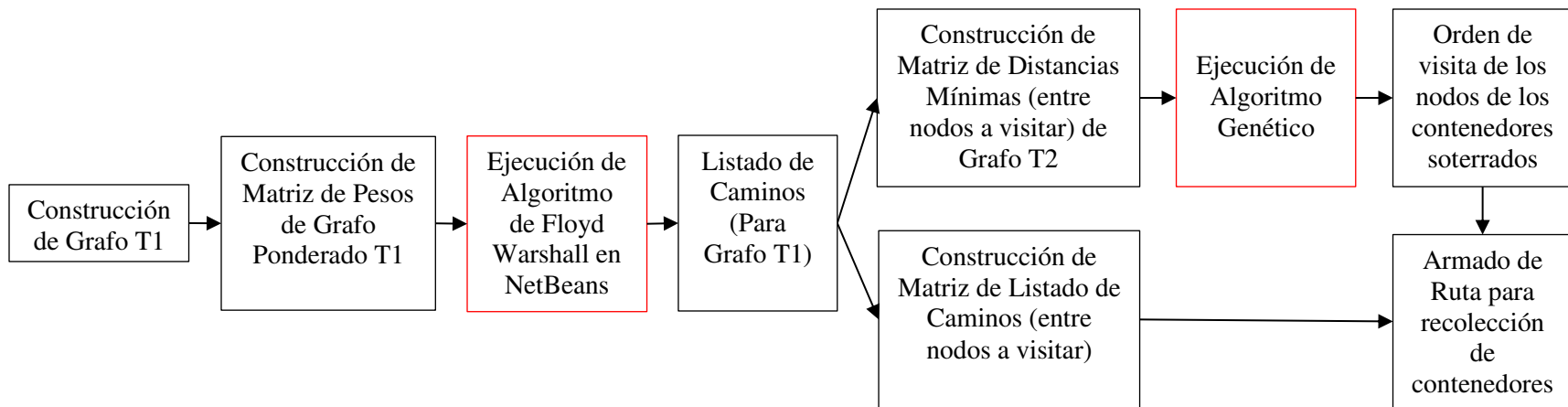


**Anexo 19. Matriz de Distancias Mínimas de Grafo Tipo 2 para G-05 para Aplicación del Algoritmo Genético Elitista**

Origen / Fin	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	212
0	0	5306	5439	4936	5014	5182	5368	5275	5414	5301	5471	5841	6001	6119	5655	5497	5321	4830	4625	4660	4459	19899
1	5173	0	437	732	585	455	424	331	470	447	592	931	1091	1240	657	577	878	896	1010	1129	1393	15221
2	5073	436	0	627	547	417	488	395	534	458	403	742	902	1051	468	388	591	609	814	853	1194	15244
3	4648	643	627	0	189	395	500	407	546	771	943	1117	1277	1464	843	685	645	230	389	474	826	15417
4	4868	604	489	327	0	348	354	261	400	625	797	1097	1257	1444	823	665	630	532	609	728	1090	15411
5	4732	450	633	291	144	0	498	405	544	769	941	1241	1401	1588	967	809	774	521	569	688	1050	15224
6	4796	398	482	355	208	78	0	100	239	464	636	976	1136	1284	702	622	638	585	633	752	1114	15239
7	4889	343	382	448	301	171	93	0	139	364	536	876	1036	1184	602	522	730	678	726	845	1207	15150
8	5052	204	243	611	464	334	256	163	0	225	397	737	897	1045	463	383	714	806	889	1008	1341	15011
9	5633	785	966	1192	1045	915	837	744	883	0	183	702	773	831	954	1106	1272	1422	1470	1589	1922	15417
10	5971	1260	1239	1614	1520	1390	1312	1219	1358	1174	0	519	590	648	771	929	1089	1580	1785	1824	1889	15892
11	5474	930	742	1117	1155	1025	982	889	1028	952	624	0	190	377	274	432	592	1083	1288	1327	1392	15738
12	5634	1090	902	1277	1315	1185	1142	1049	1188	1112	698	190	0	187	434	592	752	1243	1448	1487	1552	15878
13	5821	1277	1089	1464	1502	1372	1329	1236	1375	1215	753	377	187	0	621	779	939	1430	1635	1674	1739	15933
14	5289	656	468	843	881	751	708	615	754	678	379	274	434	621	0	158	517	825	1030	1069	1363	15464
15	5131	576	388	685	723	593	628	535	674	598	299	432	592	779	158	0	359	667	872	911	1205	15384
16	4955	877	591	645	688	558	682	589	728	929	630	592	752	939	517	359	0	491	696	735	916	15715
17	4464	873	609	230	419	576	700	607	746	971	938	1083	1243	1430	825	667	491	0	205	244	596	15647
18	4259	915	814	390	468	674	822	729	868	1093	1143	1288	1448	1635	1030	872	696	205	0	201	481	15675
19	4283	1034	853	474	587	793	941	848	987	1212	1182	1327	1487	1674	1069	911	735	244	201	0	403	15794
20	4086	1071	989	565	643	849	997	904	1043	1268	1318	1392	1552	1739	1205	1047	871	380	175	201	0	15838
212	14805	15337	15680	15557	15496	15398	15545	15452	15591	15504	15674	16193	16264	16322	15982	15856	15821	15787	15835	15954	15983	0

### Anexo 20. Matriz de Distancias Mínimas de Grafo Tipo 2 para G-06 para Aplicación del Algoritmo Genético Elitista

Origen /Fin	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	217
0	0	2397	2646	2805	3736	3816	3924	4094	3352	3475	3755	3879	3738	3662	3613	4262	3841	3769	3896	3995	4107	4050	3889	4041	3728	3954	3701	3574	16210
1	2222	0	249	408	1339	1419	1527	1697	1413	1229	1482	1482	1341	1585	1367	2322	1901	1829	1956	1762	1710	1653	1950	2070	1788	2014	1846	1634	16405
2	2398	1087	0	159	1090	1170	1278	1448	1363	1071	1233	1233	1092	1336	1209	2272	1851	1779	1716	1513	1461	1404	1796	1821	1738	1964	1796	1584	16156
3	2441	1130	270	0	931	1011	1119	1289	1353	1006	1077	1077	933	1180	1144	2262	1841	1769	1560	1357	1302	1248	1640	1665	1728	1954	1786	1574	15997
4	2162	1006	498	335	0	80	188	358	1662	1341	1412	1412	1253	1515	1479	2571	2150	2078	1895	1692	1622	1583	1975	2000	2037	2263	2095	1883	16317
5	2082	926	418	255	1171	0	108	278	1582	1261	1332	1332	1173	1435	1399	2491	2070	1998	1815	1612	1542	1503	1895	1920	1957	2183	2015	1803	16237
6	1974	818	310	147	1063	1143	0	170	1474	1153	1224	1224	1065	1327	1291	2383	1962	1890	1707	1504	1434	1395	1787	1812	1849	2075	1907	1695	16129
7	1804	648	140	299	1230	1310	1418	0	1304	1120	1373	1373	1232	1476	1258	2213	1792	1720	1847	1653	1601	1544	1841	1961	1679	1905	1737	1525	16233
8	2870	1813	1246	1181	2112	2192	2300	2470	0	173	453	583	908	360	311	1429	1008	936	704	693	954	759	587	809	895	1121	953	741	16752
9	2697	1640	1073	1008	1939	2019	2127	2297	347	0	750	880	1124	657	138	1256	835	763	890	990	1251	1056	884	1035	722	948	780	568	17005
10	2993	1935	1257	1101	1850	1930	2038	2208	643	296	0	130	455	103	434	1366	962	890	618	415	501	306	628	723	849	1075	1076	864	16299
11	3689	2460	1782	1626	1720	1800	1908	2078	1339	992	696	0	881	799	1130	1519	1115	1043	771	568	371	459	851	876	1002	1228	1312	1433	16169
12	3264	2035	1357	1201	1991	2071	2179	2349	914	567	271	271	0	374	705	1502	1098	1026	754	551	642	442	834	859	985	1211	1295	1135	16440
13	2890	1833	1266	1201	1960	2040	2148	2318	540	193	110	240	565	0	331	1449	1028	956	728	525	611	416	738	833	915	1141	973	761	16409
14	2559	1514	1211	1330	2261	2341	2449	2619	209	332	612	742	1067	519	0	1118	697	625	752	852	1113	918	746	897	584	810	642	430	16911
15	2850	1834	1753	1846	2347	2427	2535	2705	715	838	942	1016	1336	849	976	0	361	289	416	632	1143	815	536	561	274	500	278	399	16683
16	3076	2031	1728	1821	2284	2364	2472	2642	690	813	879	953	1273	786	951	525	0	226	353	569	1080	752	473	498	211	437	521	642	16733
17	3293	2248	1856	1723	2088	2168	2276	2446	907	783	683	757	1077	590	921	905	541	0	157	373	884	556	277	302	428	654	738	859	16537
18	3136	2091	1699	1566	1931	2011	2119	2289	750	626	526	600	920	433	764	748	384	312	0	216	727	399	120	145	271	497	581	702	16380
19	3413	2184	1506	1350	1715	1795	1903	2073	1063	716	420	384	704	523	854	1243	839	767	495	0	511	183	575	600	726	952	1036	1157	16164
20	3318	2089	1411	1255	1648	1728	1836	2006	968	621	325	289	609	428	759	1148	744	672	400	197	0	88	480	505	631	857	941	1062	16097
21	3368	2293	1615	1459	1824	1904	2012	2182	1018	671	529	493	813	478	809	1060	656	584	312	109	620	0	392	417	543	769	853	974	16273
22	3203	2146	1579	1507	2049	2129	2237	2407	828	506	406	536	861	313	644	866	462	390	118	334	845	517	0	223	349	575	659	780	16498
23	2991	1946	1643	1736	2225	2305	2413	2583	605	728	820	894	1214	727	866	660	239	167	294	510	1021	693	414	0	126	352	436	557	16674
24	2882	1866	1785	1878	2701	2781	2889	3059	747	870	1150	1280	1605	1057	1008	1136	715	643	770	986	1497	1169	890	915	0	226	310	431	16745
25	2756	1740	1659	1752	2575	2655	2763	2933	621	744	1024	1154	1479	931	882	1010	589	517	644	860	1371	1043	764	789	476	0	184	305	17024
26	2572	1556	1475	1568	2499	2579	2687	2857	437	560	840	970	1295	747	698	1113	692	620	747	963	1341	1146	867	892	579	805	0	121	17001
27	2451	1435	1354	1447	2378	2458	2566	2736	316	439	719	849	1174	626	577	1225	804	732	859	959	1220	1025	853	1004	691	917	749	0	16880
217	14744	16193	16093	15930	15595	15675	15783	15953	16901	16554	16258	16222	16298	16361	16692	16569	16571	16605	16333	16130	15933	16021	16413	16438	16564	16790	16832	16953	0

**Anexo 21.** Diagrama de Bloque de Proceso de Construcción de Rutas

**Anexo 22.** Contenedores Asignados a Ruta G-01

N.º	ZONA	LUGAR	UBICACIÓN DE CONTENEDORES SOTERRADOS	TURNOS
Punto 0	Zona 4	Cercado Bajo	Maestranza	INICIO: 5:00 HRS FIN 13:00HRS
1	Zona 4	Cercado Bajo	Prolongación Buenos Aires con Agua Marina (Esquina de maestranza)	
2	Zona 4	Cercado Bajo	San Antonio N.º 1 (Calle Los Zafiros)	
3	Zona 4	Cercado Bajo	San Antonio N.º 1 (Calle Los Brillantes)	
4	Zona 4	Cercado Bajo	Jr. Colina (Hospital Daniel Alcides Carrión)	
5	Zona 4	Cercado Bajo	Jr. Colina con Jr. Zarumilla	
6	Zona 4	Cercado Bajo	Calle Maranga con Jr. Montevideo	
7	Zona 4	Cercado Bajo	Calle Maranga con calle Brasil	
8	Zona 4	Cercado Bajo	Calle Maranga con Jr. Lima	
9	Zona 4	Cercado Bajo	Jr. Víctor Fajardo con Tupac Amaru	
10	Zona 4	Cercado Bajo	Jr. Olaya con Jr. Espinar	
12	Zona 4	Cercado Bajo	Jr. Elías Aguirre con calle Francisco Pizarro (Hospital Rehabilitación)	
11	Zona 4	Cercado Bajo	Jr. Vigil con California	
13	Zona 4	Cercado Bajo	Jr. Elías Aguirre con Jr. Espinar	
14	Zona 4	Cercado Bajo	Calle Maranga con Jr. Espinar	
15	Zona 4	Cercado Bajo	Jr. Bolognesi con calle Maranga	
16	Zona 4	Cercado Bajo	Jr. Bolognesi cuadra N.º 09	
17	Zona 4	Cercado Bajo	Av. José Gálvez con Calle Atahualpa	
18	Zona 4	Cercado Bajo	Jr. Nicolas de Piérola con Prolong. Zarumilla (Cementerio Británico)	
22	Zona 4	Cercado Bajo	Av. Juan Pablo II (computadoras)	
23	Zona 4	Cercado Bajo	Av. Juan Pablo II con Francisco Quiroz (Chifa)	
24	Zona 4	Cercado Bajo	Av. Juan Pablo II con Manuel Raygada	
25	Zona 4	Cercado Bajo	Av. Juan Pablo II con José Parodi	
19	Zona 4	Cercado Bajo	Av. Juan Pablo II con Manuel Ugarte	
20	Zona 4	Cercado Bajo	Av. Juan Pablo II con Bonnemaision (Bodega Antonia)	
21	Zona 4	Cercado Bajo	Av. Juan Pablo II con Francisco Quiroz (UNAC)	
Punto Final	Zona 4	Relleno Sanitario	Relleno Sanitario	
Punto 0	Maestranza	Maestranza	Maestranza	

**Anexo 23. Contenedores Asignados a Ruta G-02**

<b>NODO</b>	<b>ZONA</b>	<b>LUGAR</b>	<b>UBICACIÓN DE CONTENEDORES SOTERRADOS</b>	<b>TURNO</b>
Punto 0	Zona 4	Cercado Bajo	Maestranza	INICIO: 5:00 HRS FIN 13:00HRS
1	Zona 4	Cercado Alto	Calle 64 con Calle 64A (periodista)	
2	Zona 4	Cercado Alto	Calle 58 con calle 66 (parque Cruz de Motupe L)	
3	Zona 4	Cercado Alto	Calle 58 con calle 71	
4	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle 30A con Calle 42 (Parque San Sebastián) - Frente a mz. H3	
5	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle 30A (Parqueo de parque José Carlos Mariátegui) - Frente a mz. H3	
6	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Venezuela cuadra 11 (Frente al CEO) - Av. Venezuela 1145	
7	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Venezuela Cuadra 10 (Bodega La Esquina)	
8	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Venezuela con Calle 71 (L)	
9	Zona 4	Cercado Alto	Calle 64A (Triángulo)	
10	Zona 4	Cercado Alto	Calle 46A (Parque Héroes del Cenepa) - (frente a mz. M4)	
11	Zona 4	Cercado Alto	Calle 30 con Calle 64A	
12	Zona 4	Cercado Alto	Calle 30 (Parque Divino Niño Jesús)	
13	Zona 4	Cercado Alto	Calle 30 con Colegio Darío Arús	
14	Zona 4	Cercado Alto	Calle 30 Calle 39 (Parque San Sebastián) LA CHOLA	
15	Zona 3	Ciudad del Pescador	Francisco Quiroz con Jr. Aida García de Sotomayor - DREC	
16	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle Lola Vilar Con Félix Pasache (FOVIPOL)	
17	Zona 3	Ciudad del Pescador	Aida García de Sotomayor con P. de Madalengoitia (Piscina Taboadita)	
18	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle Lola Vilar con Calle Pablo de Madalengoitia (Taboadita)	
19	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle 8 con Jr. La Amistad	
20	Zona 4	Cercado Alto	Av. Colonial con Av. Aida García Sotomayor (FARMACIA MAYO)	
21	Zona 4	Cercado Alto	Av. Sabogal con Jorge Lizarbe (PARQUE FANNING)	
Punto Final	Relleno Sanitario	Relleno Sanitario	Relleno Sanitario	
Punto 0	Maestranza	Maestranza	Maestranza	

### Anexo 24. Contenedores Asignados a Ruta G-03

N.º	ZONA	LUGAR	UBICACIÓN DE CONTENEDORES SOTERRADOS	TURNO
Punto 0	Zona 4	Cercado Bajo	Maestranza	INICIO: 5:00 HRS FIN 13:00HRS
16	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Venezuela con Av. Uno (curva)	
17	Zona 3	Ciudad del Pescador	Parque María Auxiliadora (PULI)	
15	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Uno con Calle 29 (PASAJE PULI)	
18	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Uno con Calle 26D (Comunal 2)	
11	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Uno con Calle 6G (PARQUE 5)	
9	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Uno con Calle 1A (antes de Colonial)	
10	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Uno con Calle 3A (Frente a HOSTAL)	
12	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle 26B, entre Calle 22 y Calle 21 (Mercado Olaya)	
13	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Uno con Calle 28D	
14	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Uno con Calle 31E	
19	Zona 3	Ciudad del Pescador	Parque Señora Divina Misericordia (Abel)	
20	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Venezuela Calle 47 (Parque San Martín)	
21	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Venezuela con Calle 45 (La Boya)	
8	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Dos con Calle 28B (FRENTE CACHORROS)	
5	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Dos con Calle 26 (Cremoladas)	
4	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Dos con Calle 5A (LIBRERÍA)	
3	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Dos con Calle 4A (COMPADRES)	
2	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Dos con Calle 1A (antes de la Colonial - Cevichería)	
1	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Colonial con Av. DOS (PERLA DE LOS JUGOS)	
22	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle 10B con Jr. Teresa Velásquez (Boulevard Simón Bolívar)	
23	Zona 3	Ciudad del Pescador	La Concordia con Calle 10B (I.S.T.P. Simón Bolívar)	
24	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle 6 con Calle 9 (punto 0)	
25	Zona 4	Ciudad del Pescador	Calle 7 con Calle 26 (Esquina Lizárraga)	
26	Zona 4	Ciudad del Pescador	Calle 27 con I.E. Olivar de Los Niños (Honguito)	
6	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle 26 (Bajada de Seguro)	
7	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Dos con Calle 28 (CACHORROS)	
Punto Final	Relleno Sanitario	Relleno Sanitario	Relleno Sanitario	
Punto 0	Maestranza	Maestranza	Maestranza	

**Anexo 25. Contenedores Asignados a Ruta G-04**

<b>N.º</b>	<b>ZONA</b>	<b>LUGAR</b>	<b>UBICACIÓN DE CONTENEDORES SOTERRADOS</b>	<b>TURNO</b>
Punto 0	Zona 4	Cercado Bajo	Maestranza	INICIO: 12:00 HRS FIN 20:00HRS
10	Zona 2	Urb. Viru	Av. Venezuela con Pasaje Los Pinos	
11	Zona 2	Urb. Viru	Av. Venezuela con Calle Carrizales	
12	Zona 2	Urb. Viru	Calle Los Juncales con Calles Los Carrizales	
1	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle Las Rosas con Calle 53B (Parque María Auxiliadora - PULI)	
23	Zona 4	Ciudad del Pescador	Calle Las Rosas con Calle Los Poncianos	
15	Zona 2	Urb. Viru	Calle Los Robles con Calle Cucardas (Parque Virgen de Fátima)	
16	Zona 2	Urb. Viru	Calle Dalias con Calle Ficus (Parque Luther King)	
17	Zona 2	Urb. Viru	Madre Selva con Calle Ficus 338 (Parque Los Juegos Virú)	
20	Zona 2	Urb. Viru	Calle Nogales con Calle Gavilanes (TRIANGULO)	
19	Zona 2	Urb. Viru	Calle Ferreyros con Calle P. D'Onofrio (EL AGUILA)	
9	Zona 2	Urb. Viru	Av. Faucett con Av. Colonial (COLEGIO DE ABOGADOS)	
18	Zona 2	Urb. Viru	Av. Eucaliptos con Calle Rosales (Parque Amistad)	
21	Zona 2	Urb. Viru	Calle Tipas con Calle Margaritas (LA BANDERA)	
22	Zona 2	Urb. Viru	Calle Tipas (Parque Juventud)	
14	Zona 2	Urb. Viru	Calle 2 - Proción 2	
13	Zona 2	Urb. Viru	Luis Guillermo More con Calle 5E. (Proción 1)	
4	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle 17 (Parque Tantalean - LOCO ALDO)	
3	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle 5E con Calle 17 (Parque Tantalean 2)	
2	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle 6E con Parque Pescadito	
5	Zona 3	Ciudad del Pescador	Parque San Pedro (antes de Perú - Corea)	
8	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle 30C con Calle 46 (Centro de Salud Perú Corea) de Av. 2 a Av. 1	
6	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle 47 (I.E. 5050 - "San Pedro")	
7	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle 49 con Calle 30D (Perú - Corea)	
PF	Relleno Sanitario	Relleno Sanitario	Relleno Sanitario	
Punto 0	Maestranza	Maestranza	Maestranza	

**Anexo 26.** Contenedores Asignados a Ruta G-05

<b>N.º</b>	<b>ZONA</b>	<b>LUGAR</b>	<b>UBICACIÓN DE CONTENEDORES SOTERRADOS</b>	<b>TURNO</b>
Punto 0	Zona 4	Cercado Bajo	Maestranza	INICIO: 12:00 HRS FIN 20:00HRS
20	Zona 1	Urb. Santa Cecilia	Av. Venezuela cuadra 24 con Halcones (METRO)	
19	Zona 1	Urb. Santa Cecilia	Calle Las Grullas con los Ruiseñores (Parque Amelia Dávila)	
18	Zona 1	Urb. Santa Cecilia	Calle Halcones con Calle Los Cisnes (Garcilaso de la Vega)	
17	Zona 1	Urb. Santa Cecilia	Calle Halcones con Calle Los Pelicanos	
16	Zona 1	Urb. San José	Sebastián Barranca con pasaje Castañeda (Las Américas)	
15	Zona 1	Urb. San José	Calle Atilio Battifora con Ángel Arata (WOLLF)	
14	Zona 1	Urb. San Joaquín	Calle Salcedo con Jr. Humberto Especiani (HAWAI)	
11	Zona 1	Urb. San Joaquín	Ricardo Palma con Calle Cornelio (Quiñones)	
12	Zona 1	Urb. San Joaquín	Calle Cornelio Borda con Calle Garcilaso (Quiñones)	
13	Zona 1	Urb. San Joaquín	Calle José Santos Chocano con Calle Zapatel (Confraternidad)	
10	Zona 1	Urb. San Joaquín	Av. Colonial frente a Las Torres de San José	
9	Zona 1	Urb. San José	Av. Colonial (Frente a BCP - Pollería)	
8	Zona 1	Urb. San José	Av. San José con Jr. Luis Godin (antes de Colonial)	
7	Zona 1	Urb. San José	Av. San José con Frazier (COLEGIO SANTA CRUZ)	
6	Zona 1	Urb. San José	Av. San José con Calle Cosme (CHELAS)	
5	Zona 1	Urb. San José	Av. San José con Jr. Los Cóndores (Parque La Cultura)	
4	Zona 1	Urb. San José	Av. San José con Calles Las Gaviotas (CHIFA)	
3	Zona 1	Urb. San José	Calle Los Pelicanos con los Gorriones (Gambeta)	
2	Zona 1	Urb. San José	Calle Antonio Raimondi 181 (Parque Santa Cruz)	
1	Zona 1	Urb. San José	Calle Luis Godin con Calle Hurtado Romo (Parque Elías Aguirre-El Ancla)	
PF	Relleno Sanitario	Relleno Sanitario	Relleno Sanitario	
Punto 0	Maestranza	Maestranza	Maestranza	



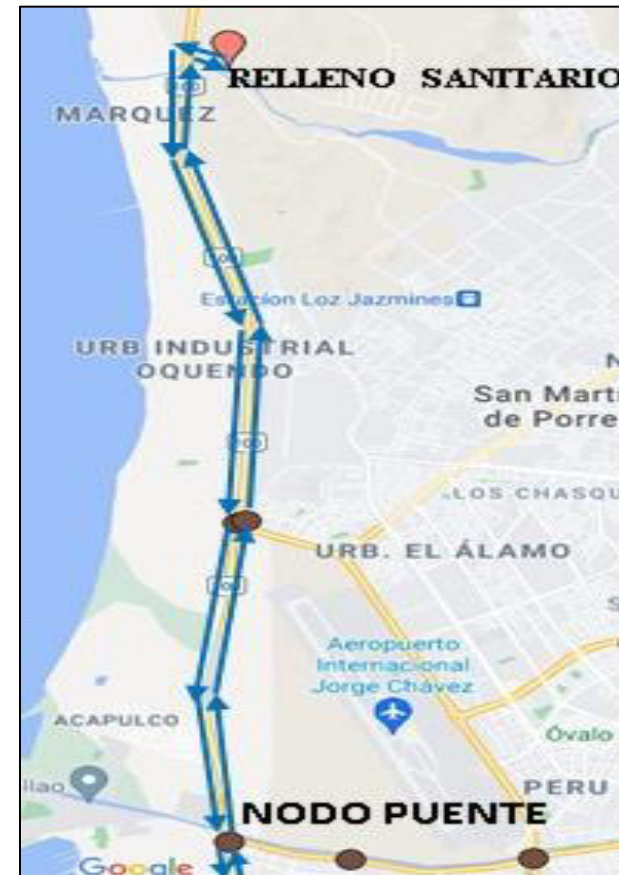
### Anexo 27. Contenedores Asignados a Ruta G-06

NODO	ZONA	LUGAR	UBICACIÓN DE CONTENEDORES SOTERRADOS	TURNO
0	Zona 4	Cercado Bajo	Maestranza	INICIO: 12:00 HRS FIN 20:00HRS
F1	Zona 4	Cercado Alto	Av. Juan Pablo II (Computadoras)	
F2	Zona 4	Cercado Alto	Av. Juan Pablo II con Francisco Quiroz (CHIFA)	
F3	Zona 4	Cercado Alto	Av. Juan Pablo II con Manuel Raygada	
F4	Zona 4	Cercado Alto	Av. Juan Pablo II con José Parodi	
F5	Zona 4	Cercado Alto	Av. Juan Pablo II con Manuel Ugarte	
F6	Zona 4	Cercado Alto	Av. Juan Pablo II con Bonnemaision (Bodega Antonia)	
F7	Zona 4	Cercado Alto	Av. Juan Pablo II con Francisco Quiroz (UNAC)	
F8	Zona 4	Cercado Alto	Av. Dos con Calle 28B (FRENTE CACHORROS)	
F10	Zona 4	Cercado Alto	Av. Dos con Calle 4A (COMPADRES)	
F11	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Dos con Calle 1A (antes de la Colonial - Cevichería)	
F12	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Colonial con Av. Dos (PERLA DE LOS JUGOS)	
F13	Zona 3	Ciudad del Pescador	Frente a la Librería Pablito - Av. Dos con Calle 5A	
F9	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Dos con Calle 26 (Cremoladas)	
F14	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Dos con Calle 28 (CACHORROS)	
F15	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Venezuela con Av. Uno (Curva)	
F16	Zona 3	Ciudad del Pescador	Parque María Auxiliadora (PULI)	
F17	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Uno con Calle 29 (Pasaje PULI)	
F18	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Uno con Calle 26D (Comunal 2)	
F19	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Uno con Calle 6G (Parque 5)	
F20	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Uno con calle 1A (antes de Colonial)	
F21	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Uno con calle 3A (frente a Hostal)	
F22	Zona 3	Ciudad del Pescador	Calle 26B, entre Calle 22 y Calle 21 - Mercado Olaya	
F23	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Uno con Calle 28D	
F24	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Uno con Calle 31G (según mapa debe ser 31E)	
F25	Zona 3	Ciudad del Pescador	Parque Señora Divina Misericordia (Abel)	
F26	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Venezuela Calle 47 (Parque San Martín)	
F27	Zona 3	Ciudad del Pescador	Av. Venezuela con Calle 45 (La Boya)	
PF	Relleno Sanitario	Relleno Sanitario	Relleno Sanitario	
ÑPunto 0	Maestranza	Maestranza	Maestranza	

Nota. Según información del Municipio, Ruta G-06 presenta 23 contenedores soterrados pero durante la validación en el Mapa proporcionado por el Municipio se noto que el vehículo recolector pasa por 27 nodos.

**Anexo 28.** Mapa de Ruta de Recolección Propuesta para Ruta G-01

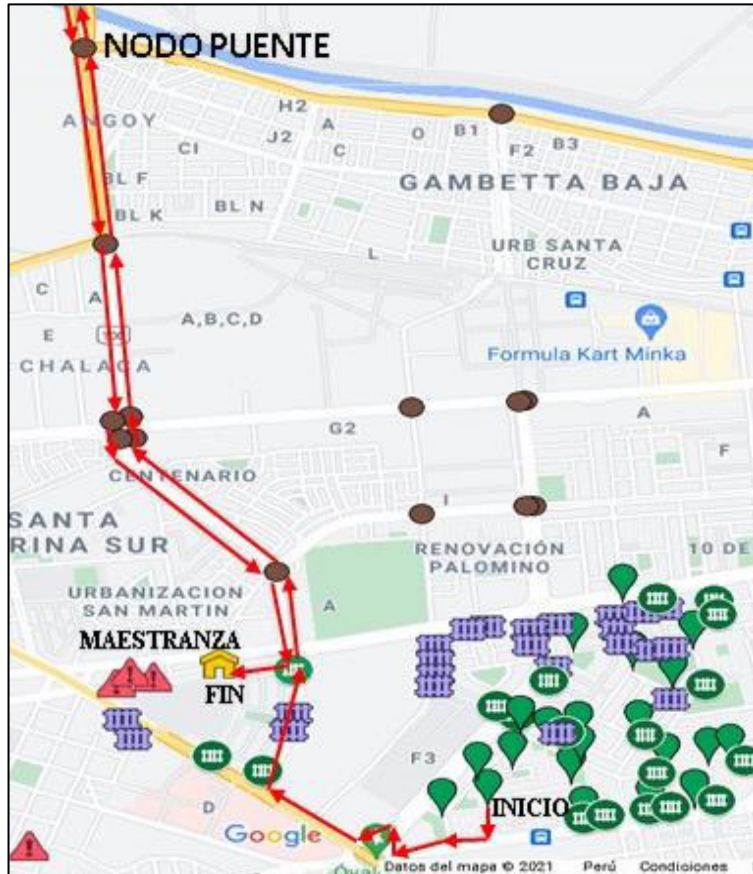
**Anexo 29.** Mapa de Ruta de Transporte Propuesta para Ruta G-01



Nota. Por escala del Mapa, para mejor visualización se dividió en 2 sub mapas para la ruta de transporte.

Anexo 30. Mapa de Ruta de Recolección Propuesta para Ruta G-02

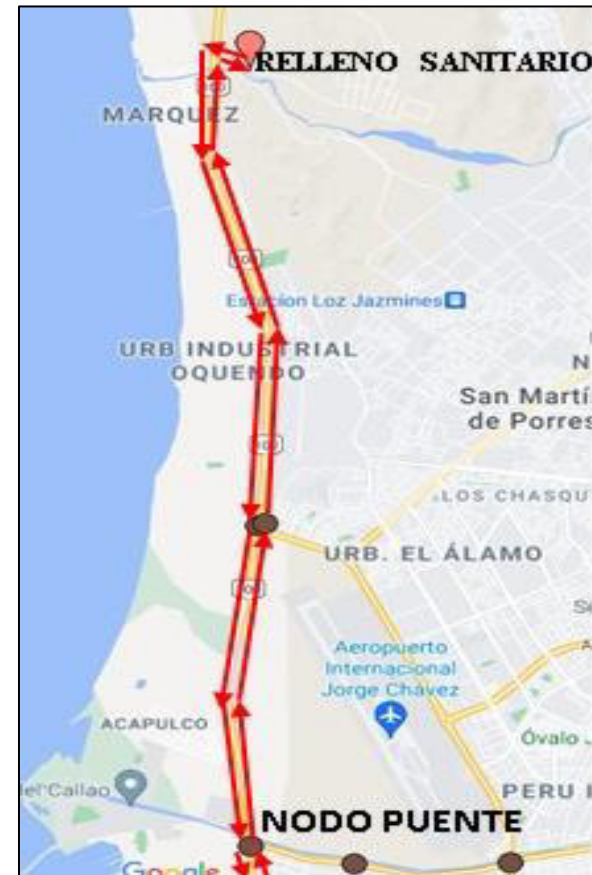


**Anexo 31.** Mapa de Ruta de Transporte Propuesta para Ruta G-02

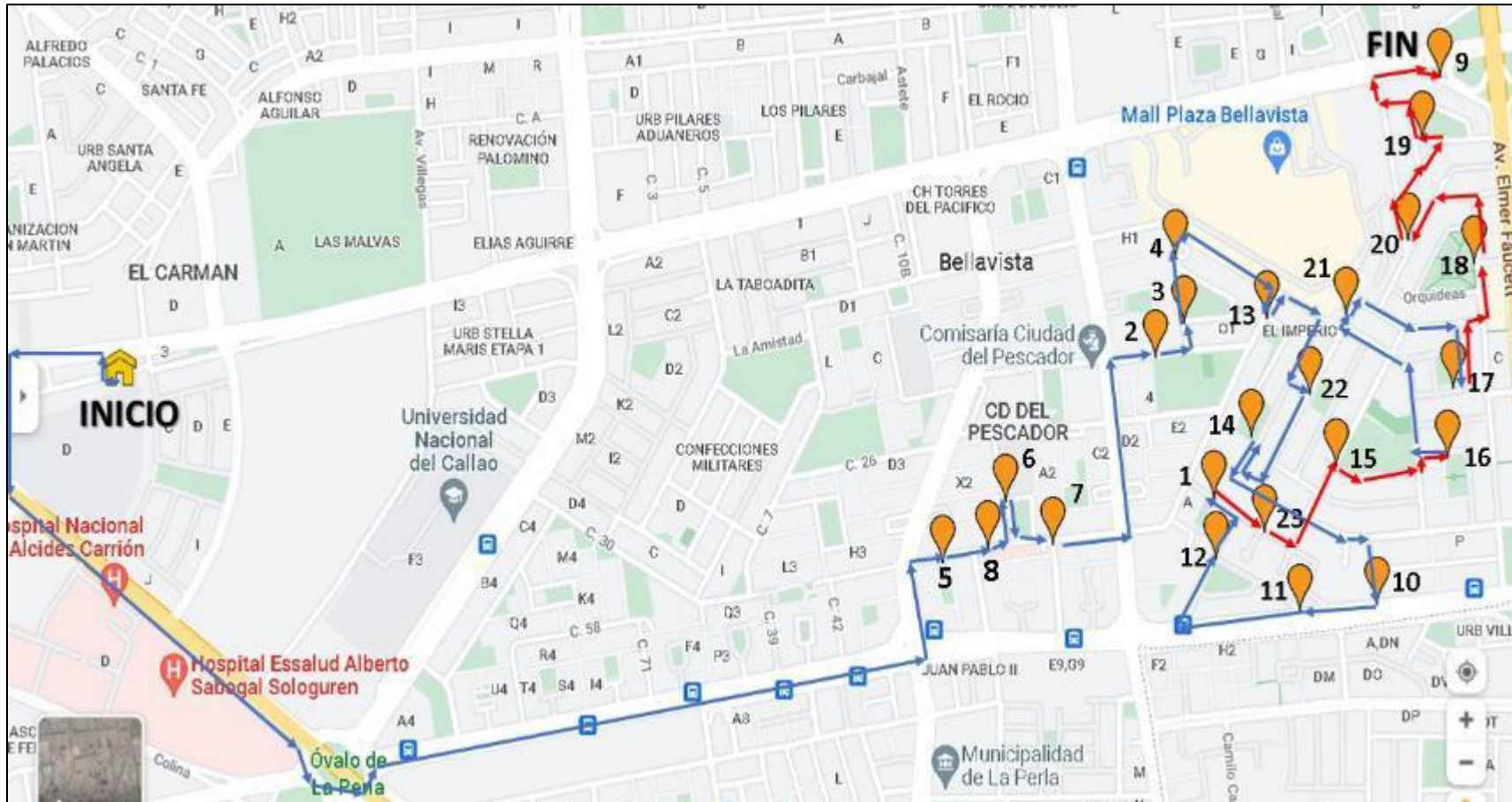
Nota. Por escala del Mapa, para mejor visualización se dividió en 2 submapas la ruta de transporte.

**Anexo 32. Mapa de Ruta de Recolección Propuesta para Ruta G-03**

### Anexo 33. Mapa de Ruta de Transporte Propuesta para Ruta G-03

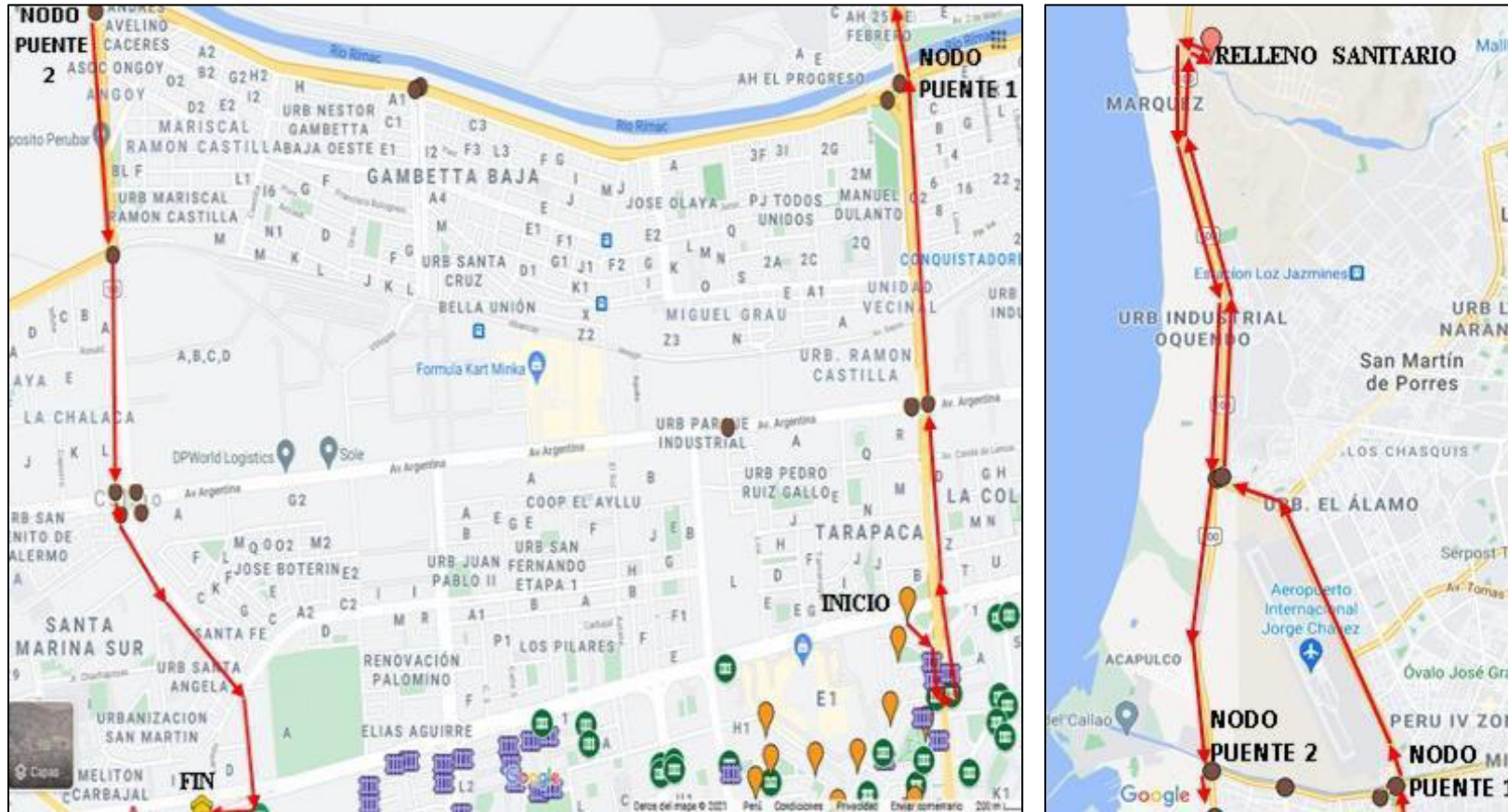


Nota. Por escala del Mapa, para mejor visualización se dividió en 2 submapas la ruta de transporte.

**Anexo 34. Mapa de Ruta de Recolección Propuesta para Ruta G-04**



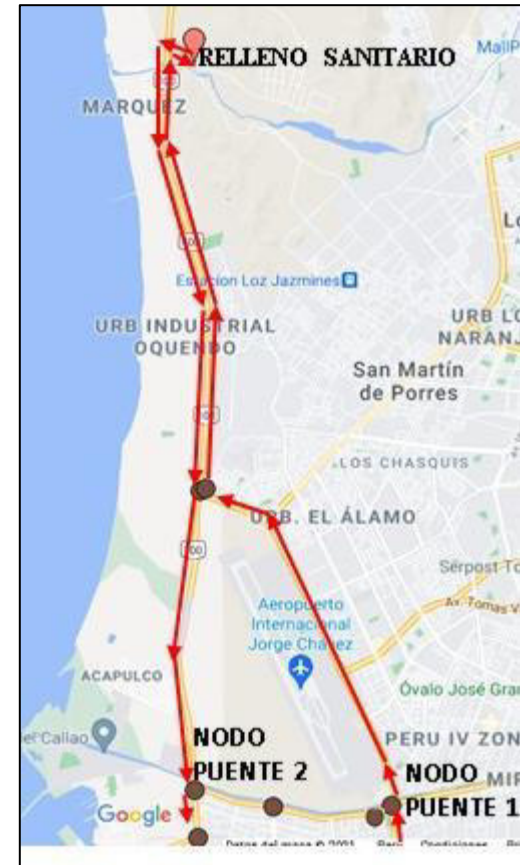
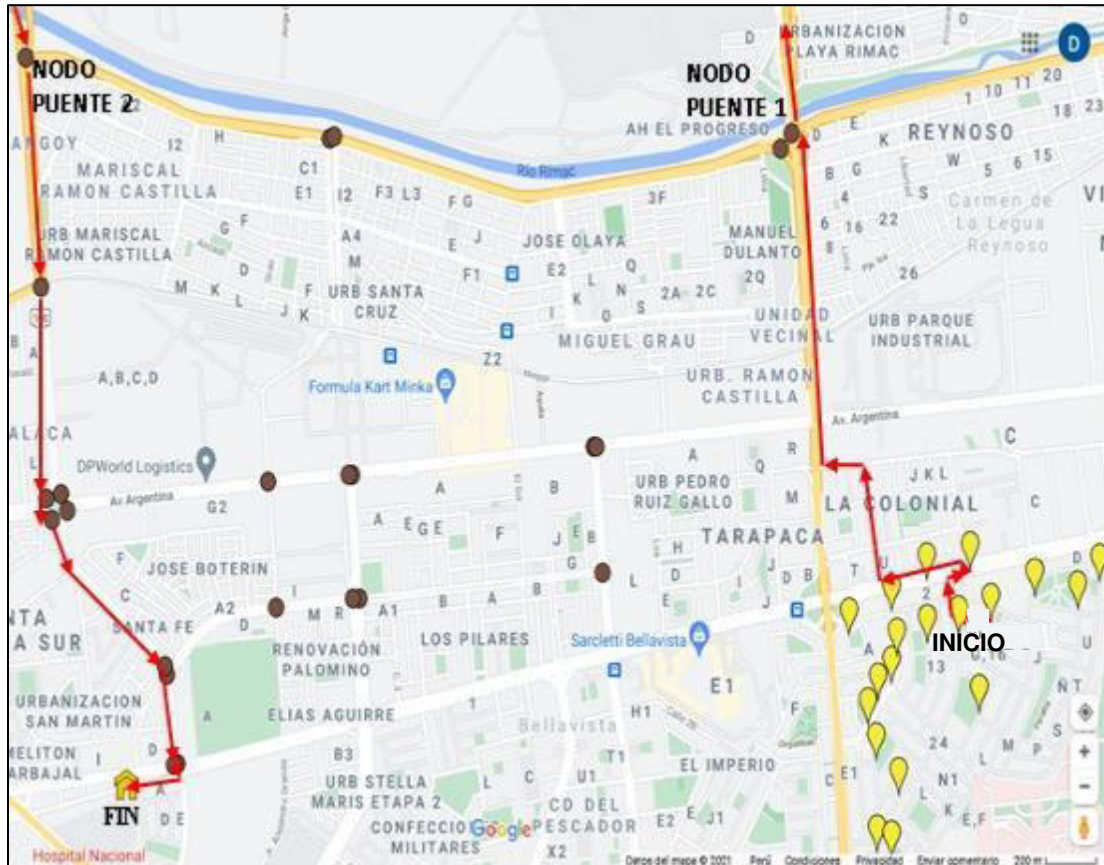
### Anexo 35. Mapa de Ruta de Transporte Propuesta para Ruta G-04



Nota. Por escala del Mapa, para mejor visualización se dividió en 2 submapas la ruta de transporte.

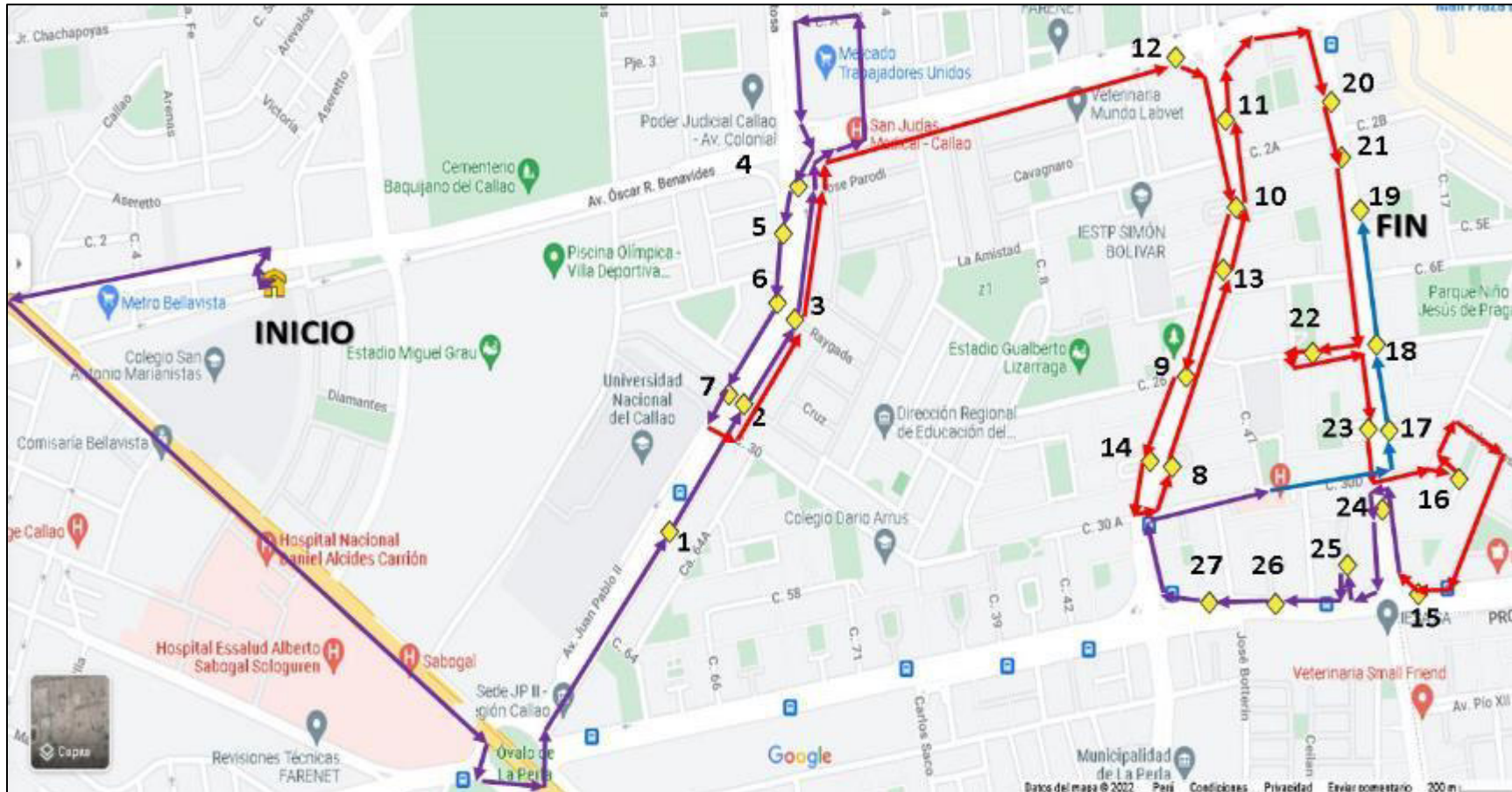


### Anexo 37. Mapa de Ruta de Transporte Propuesta para Ruta G-05



Nota. Por escala del Mapa, para mejor visualización se dividió en 2 submapas la ruta de transporte.

### Anexo 38. Mapa de Ruta de Recolección Propuesta para Ruta G-06





**Anexo 40.** Fotos de Servicio de Evacuación de Contenedores



### Anexo 41. Coeficiente de Variación según Probabilidad de Mutación

Generación	P. Muta = 0.0001	P. Muta = 0.001	P. Muta = 0.005	P. Muta = 0.01	P. Muta = 0.1	P. Muta = 0.2	P. Muta = 0.3
1	4.379%	4.379%	4.377%	4.379%	4.352%	4.323%	4.286%
2	4.282%	4.284%	4.461%	4.396%	4.441%	4.392%	4.255%
3	4.970%	5.213%	4.913%	4.991%	5.173%	4.999%	5.127%
4	5.318%	5.475%	5.659%	5.696%	5.861%	5.514%	5.769%
5	5.234%	5.433%	5.848%	5.982%	6.432%	6.092%	6.569%
6	4.308%	4.698%	5.282%	5.407%	6.898%	6.726%	7.501%
7	3.747%	3.732%	3.936%	4.545%	6.130%	7.084%	6.548%
8	3.168%	3.142%	3.213%	3.340%	4.603%	6.096%	4.951%
9	2.757%	2.909%	2.919%	2.847%	4.618%	5.465%	5.337%
10	2.432%	2.350%	2.726%	2.803%	4.287%	5.292%	6.073%
11	2.285%	2.144%	2.376%	2.623%	4.505%	5.435%	6.733%
12	2.209%	2.155%	2.361%	2.579%	4.460%	5.916%	7.405%
13	2.248%	2.332%	2.415%	2.632%	4.721%	6.164%	7.805%
14	2.251%	2.431%	2.270%	2.742%	4.946%	6.714%	8.530%
15	2.124%	2.605%	2.376%	2.570%	4.995%	7.130%	8.761%
16	2.267%	2.509%	2.671%	2.947%	5.765%	7.907%	9.464%
17	2.156%	2.657%	2.179%	2.797%	5.717%	8.148%	10.040%
18	1.989%	2.825%	2.424%	2.938%	5.928%	8.508%	10.373%
19	1.994%	2.887%	1.933%	2.464%	6.313%	9.163%	10.927%
20	1.878%	3.294%	2.534%	3.057%	6.111%	9.473%	11.186%
21	1.722%	3.490%	1.867%	2.660%	6.541%	10.515%	11.774%
22	1.561%	3.817%	1.888%	2.125%	6.538%	10.799%	12.079%
23	1.383%	3.663%	2.001%	2.300%	6.506%	11.087%	12.352%
24	1.198%	2.887%	2.765%	2.991%	7.384%	11.569%	12.603%
25	1.143%	1.728%	1.910%	2.208%	7.365%	11.945%	12.751%
26	1.074%	1.552%	1.655%	1.994%	7.653%	12.117%	12.947%
27	1.031%	1.488%	2.336%	2.716%	7.152%	11.595%	12.989%
28	0.490%	1.261%	2.522%	2.771%	7.609%	11.881%	13.125%
29	0.498%	1.123%	1.655%	2.288%	7.464%	12.153%	13.316%
30	0.636%	1.520%	1.787%	2.080%	7.330%	11.800%	13.233%
31	0.675%	1.573%	2.431%	2.713%	7.602%	12.105%	13.374%
32	0.589%	1.061%	2.237%	2.599%	7.322%	11.989%	13.282%
33	0.586%	1.253%	1.910%	2.349%	7.613%	12.013%	13.360%
34	0.817%	1.908%	2.238%	2.718%	7.276%	11.749%	13.115%
35	0.566%	1.829%	2.336%	2.427%	7.153%	11.477%	13.096%
36	0.686%	1.559%	2.025%	2.353%	7.577%	12.214%	13.393%
37	0.986%	1.165%	2.025%	2.418%	7.294%	11.873%	13.166%
38	0.984%	1.287%	2.776%	2.933%	7.562%	11.906%	13.259%
39	1.244%	0.646%	2.238%	2.712%	7.484%	12.047%	13.473%
40	1.365%	0.646%	2.431%	2.545%	7.802%	12.346%	13.481%
41	1.525%	0.913%	2.134%	2.662%	7.854%	12.111%	13.279%
42	1.811%	1.118%	2.522%	2.867%	7.613%	12.153%	13.354%
43	1.937%	1.118%	2.336%	2.237%	7.520%	11.861%	13.306%
44	2.131%	1.290%	2.237%	2.569%	7.380%	11.917%	13.124%
45	1.823%	1.114%	2.025%	2.633%	7.668%	11.917%	13.423%
46	0.231%	0.913%	2.237%	2.890%	7.700%	11.816%	13.175%
47	0.227%	0.646%	1.787%	2.547%	7.367%	12.026%	13.242%
48	0.661%	1.118%	2.134%	2.210%	6.912%	11.816%	13.194%
49	0.241%	0.000%	1.787%	2.058%	7.241%	11.562%	12.872%
50	0.200%	1.822%	3.359%	3.112%	7.610%	12.036%	13.318%

<b>Generación</b>	<b>P. Muta = 0.0001</b>	<b>P. Muta = 0.001</b>	<b>P. Muta = 0.005</b>	<b>P. Muta = 0.01</b>	<b>P. Muta = 0.1</b>	<b>P. Muta = 0.2</b>	<b>P. Muta = 0.3</b>
51	0.183%	0.913%	2.609%	2.788%	7.475%	12.079%	13.366%
52	0.228%	0.000%	1.787%	2.351%	7.081%	11.502%	13.151%
53	0.224%	1.287%	2.237%	2.671%	7.507%	11.850%	13.332%
54	0.281%	0.000%	2.134%	2.418%	7.244%	11.895%	13.318%
55	0.322%	0.913%	1.655%	2.135%	7.172%	11.680%	13.134%
56	0.284%	0.913%	2.025%	2.135%	7.123%	12.068%	13.353%
57	0.274%	1.290%	1.910%	2.351%	7.267%	11.668%	13.114%
58	0.309%	0.646%	2.522%	2.610%	7.641%	11.928%	13.334%
59	0.329%	1.114%	2.522%	2.610%	7.196%	11.884%	13.346%
60	0.375%	0.646%	1.353%	2.547%	7.729%	12.058%	13.277%
61	0.389%	0.913%	2.025%	2.484%	7.151%	11.355%	13.091%
62	0.478%	1.118%	1.512%	2.484%	7.623%	11.917%	13.220%
63	0.528%	0.913%	1.512%	2.135%	7.427%	11.714%	13.179%
64	0.866%	0.646%	2.025%	2.418%	7.226%	11.749%	13.129%
65	0.695%	0.646%	2.237%	2.788%	7.419%	11.573%	13.324%
66	0.794%	0.913%	1.910%	2.135%	7.513%	12.047%	13.332%
67	0.561%	1.442%	2.522%	2.610%	7.447%	11.972%	13.133%
68	0.057%	0.913%	2.431%	2.788%	7.707%	12.079%	13.322%
69	0.898%	1.579%	2.610%	3.007%	7.519%	12.068%	13.329%
70	0.050%	0.639%	2.237%	2.419%	7.566%	12.090%	13.342%
71	0.050%	1.442%	2.025%	2.418%	7.239%	11.668%	13.121%
72	0.034%	0.646%	2.025%	2.058%	7.491%	12.015%	13.375%
73	0.061%	0.913%	2.134%	1.978%	7.726%	12.100%	13.372%
74	0.034%	0.646%	2.025%	2.671%	7.486%	12.058%	13.405%
75	0.034%	0.646%	2.134%	2.281%	7.508%	11.917%	13.290%
76	0.636%	0.646%	2.237%	2.547%	7.304%	11.939%	13.211%
77	0.038%	0.000%	2.238%	2.484%	7.528%	11.861%	13.286%
78	0.038%	0.908%	2.431%	2.730%	7.588%	11.895%	13.258%
79	0.038%	0.646%	2.025%	3.060%	7.864%	11.928%	13.399%
80	0.041%	1.442%	2.025%	2.418%	7.112%	11.972%	13.470%
81	0.017%	0.913%	2.431%	2.900%	7.326%	11.805%	13.129%
82	0.050%	0.639%	2.431%	3.008%	7.724%	12.194%	13.303%
83	0.034%	1.118%	2.431%	2.900%	7.365%	11.726%	13.190%
84	0.041%	1.118%	2.431%	2.483%	7.874%	12.132%	13.402%
85	0.638%	0.646%	1.787%	2.351%	7.470%	11.895%	13.254%
86	0.024%	0.913%	1.910%	2.281%	7.667%	11.961%	13.372%
87	0.038%	0.646%	2.237%	2.281%	7.757%	12.005%	13.424%
88	0.045%	1.290%	2.134%	2.670%	7.329%	11.760%	13.026%
89	0.034%	0.913%	2.134%	2.844%	7.421%	11.928%	13.458%
90	0.048%	1.290%	2.609%	2.610%	7.823%	12.047%	13.208%
91	0.034%	0.000%	2.431%	2.610%	7.468%	11.983%	13.302%
92	0.636%	0.903%	1.787%	2.135%	7.557%	12.026%	13.346%
93	0.058%	0.646%	1.655%	2.483%	7.547%	12.068%	13.464%
94	0.034%	0.913%	2.431%	2.670%	7.575%	11.939%	13.380%
95	0.050%	1.118%	2.694%	2.670%	7.240%	11.816%	13.182%
96	0.637%	0.913%	1.787%	2.281%	7.280%	12.026%	13.546%
97	0.045%	0.646%	2.134%	2.670%	7.384%	11.983%	13.307%
98	0.034%	0.913%	1.787%	2.351%	7.197%	11.586%	13.194%
99	0.038%	0.646%	1.512%	2.135%	7.175%	11.861%	13.150%
100	0.050%	0.646%	2.025%	2.210%	7.529%	12.194%	13.424%



<b>Generación</b>	<b>P. Muta = 0.0001</b>	<b>P. Muta = 0.001</b>	<b>P. Muta = 0.005</b>	<b>P. Muta = 0.01</b>	<b>P. Muta = 0.1</b>	<b>P. Muta = 0.2</b>	<b>P. Muta = 0.3</b>
101	0.038%	0.000%	1.910%	2.351%	7.349%	12.090%	13.448%
102	0.637%	1.436%	2.431%	2.900%	7.616%	12.100%	13.313%
103	0.041%	0.913%	1.787%	2.609%	7.201%	11.850%	13.320%
104	0.056%	0.646%	1.787%	2.418%	7.285%	12.005%	13.356%
105	0.637%	1.118%	1.787%	2.418%	7.515%	12.036%	13.251%
106	0.034%	1.439%	1.910%	2.609%	7.497%	12.121%	13.342%
107	0.048%	0.646%	1.787%	2.418%	7.230%	11.794%	13.166%
108	0.041%	0.646%	2.431%	2.844%	7.535%	11.850%	13.158%
109	0.637%	1.287%	2.134%	2.609%	7.471%	11.850%	13.230%
110	0.038%	0.000%	1.787%	2.281%	7.843%	12.296%	13.463%
111	0.050%	0.646%	1.910%	2.351%	6.988%	11.783%	13.320%
112	0.034%	0.908%	1.910%	2.350%	7.657%	11.726%	13.074%
113	0.017%	0.646%	1.910%	2.484%	7.292%	11.703%	13.224%
114	0.038%	0.646%	1.787%	2.058%	7.513%	11.839%	13.176%
115	0.048%	1.290%	2.336%	2.730%	7.536%	11.917%	13.249%
116	0.038%	0.646%	2.431%	2.548%	7.753%	11.895%	13.237%
117	0.034%	0.913%	2.237%	2.418%	7.221%	11.726%	13.084%
118	0.041%	1.118%	2.134%	2.670%	7.413%	12.058%	13.375%
119	0.034%	0.913%	2.134%	2.419%	7.198%	11.805%	13.317%
120	0.024%	0.646%	1.910%	2.671%	7.666%	11.884%	13.231%
121	0.069%	1.118%	2.026%	2.058%	7.286%	11.771%	13.169%
122	0.045%	0.913%	2.609%	2.730%	7.512%	11.895%	13.346%
123	0.038%	0.646%	1.910%	2.418%	7.768%	12.111%	13.428%
124	0.024%	0.646%	1.787%	2.210%	7.591%	12.058%	13.401%
125	0.050%	0.000%	1.353%	2.484%	7.336%	11.884%	13.283%
126	0.029%	1.114%	2.522%	2.845%	7.454%	11.861%	13.035%
127	0.034%	1.118%	2.609%	2.351%	7.520%	11.816%	13.136%
128	0.041%	0.000%	1.512%	2.418%	7.238%	11.861%	13.237%
129	0.053%	0.646%	1.910%	2.209%	7.499%	12.163%	13.382%
130	0.050%	0.000%	1.512%	2.209%	7.160%	11.645%	13.050%
131	0.636%	1.118%	2.134%	2.844%	7.408%	11.703%	13.175%
132	0.041%	0.000%	1.787%	2.483%	7.644%	12.132%	13.384%
133	0.045%	1.118%	2.134%	2.610%	7.123%	11.680%	13.341%
134	0.041%	0.000%	2.522%	2.954%	7.386%	12.132%	13.380%
135	0.034%	0.000%	1.655%	2.610%	7.421%	11.961%	13.338%
136	0.038%	0.000%	2.134%	2.419%	7.351%	12.173%	13.423%
137	0.038%	0.000%	1.511%	2.350%	7.299%	11.828%	13.169%
138	0.048%	0.646%	1.655%	1.894%	7.119%	11.726%	13.095%
139	0.041%	0.913%	2.134%	2.610%	7.311%	11.726%	13.089%
140	0.029%	1.287%	2.431%	2.484%	7.525%	12.047%	13.359%
141	0.045%	0.646%	2.431%	2.548%	7.374%	11.805%	13.303%
142	0.034%	0.646%	1.787%	2.418%	7.582%	12.142%	13.292%
143	0.017%	0.646%	1.788%	2.351%	6.962%	11.379%	13.025%
144	0.050%	0.908%	1.910%	2.210%	7.419%	11.873%	13.064%
145	0.034%	0.000%	2.776%	2.845%	7.459%	11.805%	13.207%
146	0.041%	0.646%	2.025%	2.609%	7.750%	12.005%	13.250%
147	0.637%	1.287%	2.695%	2.730%	7.971%	12.058%	13.243%
148	0.038%	0.000%	1.910%	2.844%	7.621%	12.015%	13.403%
149	0.029%	1.698%	2.522%	2.787%	7.339%	11.906%	13.341%
150	0.053%	1.118%	2.431%	3.162%	7.787%	12.132%	13.366%

**Anexo 42.** Procedimiento de Prueba de Medias en Minitab 19

**Menú:** Estadísticas → Estadísticas Básicas → t de 1 Muestra...

**Figura 46**

*Cuadro de Diálogo para t de 1 Muestra para Media en Minitab 19*



Al seleccionar la columna donde se registran los datos, se obtiene los resultados indicados en la Figura 47.

**Figura 47**

*Resultados de Prueba t de 1 muestra para Media en Minitab 19*

Estadísticas descriptivas				Prueba	
N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Hipótesis nula $H_0: \mu = 0.5$	Hipótesis alterna $H_1: \mu \neq 0.5$
2000000	0.500267	0.288599	0.000204	IC de 95% para $\mu$	Valor Z Valor p
				(0.499868; 0.500667)	1.31 0.190

$\mu$ : media de A  
Desviación estándar conocida = 0.288599

**Anexo 43.** Procedimiento de Prueba de Varianza en Minitab 19

**Menú:** Estadísticas → Estadísticas Básicas → 1 varianza...

**Figura 48**

*Cuadro de Diálogo para Varianza de una Muestra en Minitab 19*



Al seleccionar la columna donde se registran los datos, se obtiene los resultados indicados en la Figura 49.

**Figura 49**

*Resultados de la Prueba Varianza de una Muestra en Minitab 19*

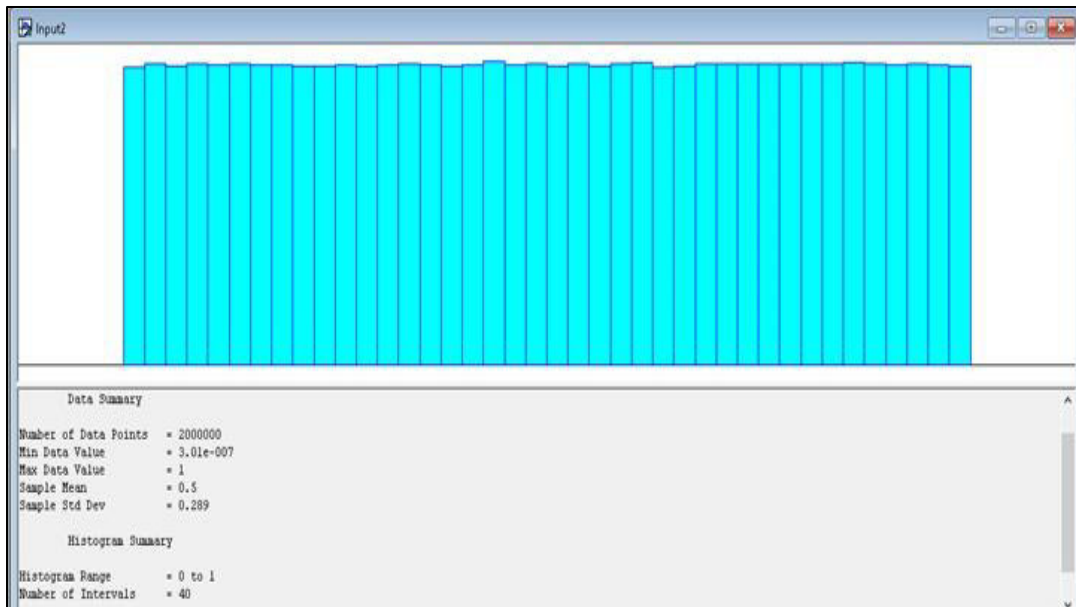
Estadísticas descriptivas					Prueba			
N	Desv.Est.	Varianza	IC de 95% para $\sigma$ usando Bonett	IC de 95% para $\sigma$ usando Chi-cuadrada	Método	Estadística de prueba	GL	Valor p
2000000	0.289	0.0833	(0.288; 0.289)	(0.288; 0.289)	Bonett	—	—	0.404
					Chi-cuadrada	1998943.20	1999999	0.598

## Anexo 44. Procedimiento de Bondad de Ajuste usando Input Analyzer

Se importan los datos en formato “\*.txt” al Input Analyzer, donde inmediatamente aparece el reporte de la Figura 50.

**Figura 50**

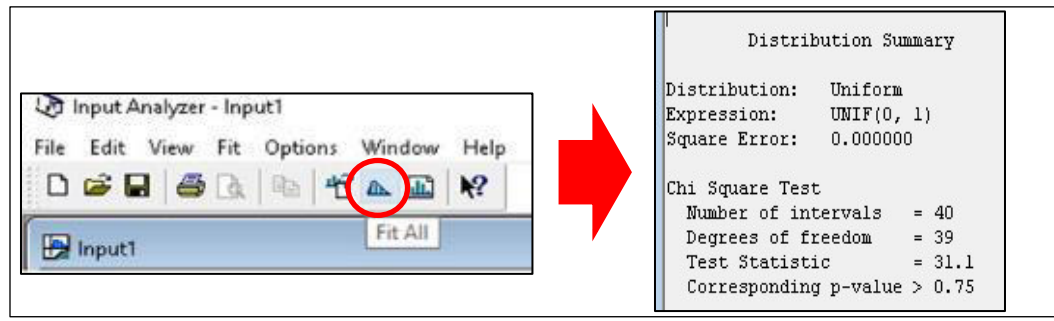
*Resumen de datos de la Sucesión Ingresada.*



Usamos icono para que el Input Analyzer realiza la Prueba de Bondad de Ajuste y nos indique la Distribución que mejor se ajusta a los datos (Figura 51).

**Figura 51**

*Resultados de Bondad de Ajuste en Input Analyzer*

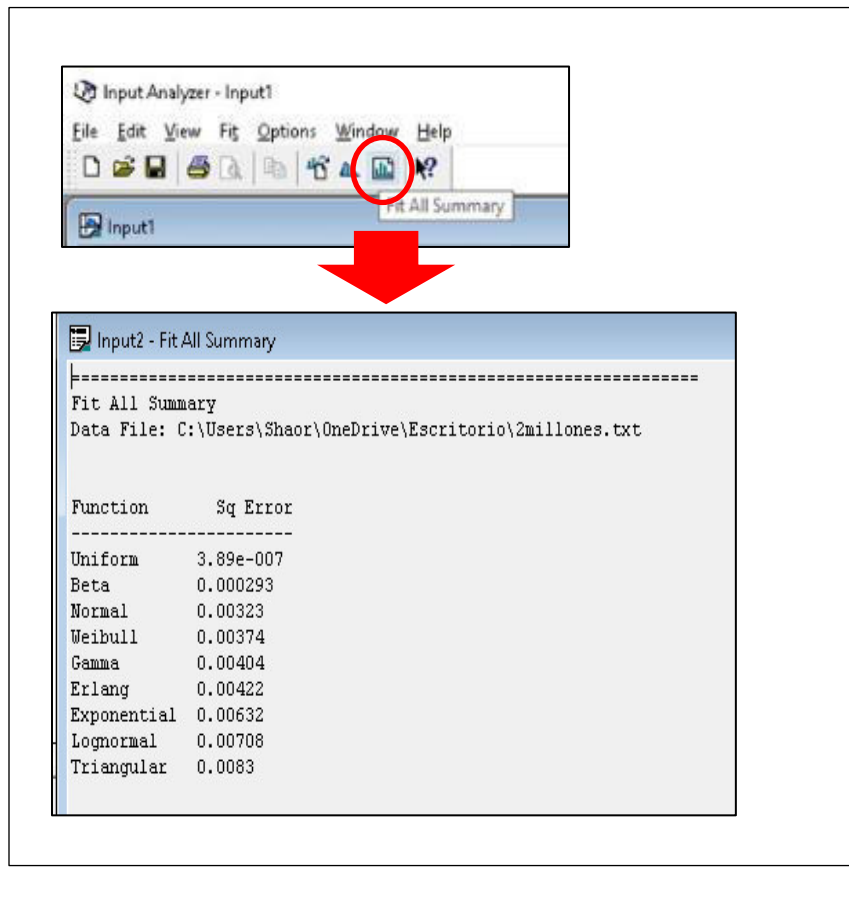


De la Figura 51, el Input Analyzer indica que la Sucesion de datos se ajusta a una Distribución Uniforma (0, 1). Y al realizar la Prueba Chi Cuadrado se observó un p-value  $> 0.75$  por lo cual se acepta que la Distribución de números procede de una Distribución Uniforme (0, 1).

Para observar el error cuadratico medio según las distribuciones disponibles em el Input Analyzer, se observo que la Distribución Uniforme (0, 1) presento el menor error cuadratico medio (ver Figura 52).

### Figura 52

*Error Cuadrático Medio según Distribución Comparada*



### Anexo 45. Prueba de Huecos - Números Reales Pseudoaleatorios en Excel

1. Con el método congruencial se generó una sucesión con 2 millones de números pseudoaleatorios (Tabla Números Aleatorios), cuyos elementos son expresados por  $\{X_i\} / i = 1, 2, \dots, 2000000$ .
2. Se definió el intervalo  $I = ]0.3; 0.8[$ , donde  $\alpha = 0.3$ ,  $\beta = 0.8$  y  $\theta = \beta - \alpha = 0.5$ , de tal manera que en la Tabla *Cumplimiento de Intervalo* (ver Figura 53, columnas F:I de Excel), se cumple:

$$Y_i = \begin{cases} 1, & \text{si } X_i \in I \\ 0, & \text{si } X_i \notin I \end{cases}$$

Dicho valor  $Y_i$ , se calculó según fórmula Excel “=+SI(Y(B3>0.3;B3<0.8);1;0)”

3. Se define  $f(Y_i)$ , como el número de 0's (huecos) entre dos 1's próximos. Es decir,  $f(Y_i) = k$ , tal que  $\text{Dom } f = \{ Y_i / Y_i = 1, i = 1, 2, \dots, 2000000 \}$ , donde  $Y_j = 1$ ,  $Y_{j+1}$  hasta  $Y_{j+k} = 0$ , y  $Y_{j+k+1} = 1$ . Por ejemplo, para:

- $f(Y_1) = 1$ , donde  $Y_1 = 1$ ,  $Y_{1+1}$  hasta  $Y_{1+1} = 0$ , y  $Y_{1+1+1} = 1$
- $f(Y_9) = 3$ , donde  $Y_9 = 1$ ,  $Y_{9+1}$  hasta  $Y_{9+3} = 0$ , y  $Y_{9+3+1} = 1$

El valor  $f(Y_i)$ , se calculó según la fórmula Excel:

“=SI.ERROR(SI(G3=1;SI(G3=G4;0;SI(G3=G5;1;SI(G3=G6;2;SI(G3=G7;3;SI(G3=G8;4;SI(G3=G9;5;SI(G3=G10;6;SI(G3=G11;7;SI(G3=G12;8;SI(G3=G13;9;SI(G3=G14;10;SI(G3=G15;11;SI(G3=G16;12;SI(G3=G17;13;SI(G3=G18;14;SI(G3=G19;15;SI(G3=G20;16;SI(G3=G21;17;SI(G3=G22;18;SI(G3=G23;19;SI(G3=G24;20;SI(G3=G25;21;SI(G3=G26;22;SI(G3=G27;23;SI(G3=G28;24;SI(G3=G29;25;SI(G3=G30;26;SI(G3=G31;27;SI(G3=G32;28;SI(G3=G33;29;SI(G3=G34;30;"")))”

Con lo cual, se construyó la tabla indicada en la Figura 53.

Figura 53

Clasificación de Números Pseudoaleatorios según Cumplimiento de Intervalos.

Números Aleatorios				Cumplimiento de Intervalo				Huecos entre Números Aleatorios			
Posición	Xi	Posición	Xi	Posición	Yi	Posición	Yj	Posición	f(Yi)	Posición	f(Yj)
1	0.73134775	1000001	0.37599122	1	1	1000001	1	1	1	1000001	4
2	0.09477511	1000002	0.11524481	2	0	1000002	0	2	1	1000002	
3	0.302147	1000003	0.29899236	3	1	1000003	0	3	1	1000003	
4	0.96997404	1000004	0.18894791	4	0	1000004	0	4	1	1000004	
5	0.60849964	1000005	0.88938859	5	1	1000005	0	5	1	1000005	
6	0.91326044	1000006	0.61640902	6	0	1000006	1	6		1000006	1
7	0.79760091	1000007	0.93548511	7	1	1000007	0	7	1	1000007	
8	0.27395707	1000008	0.39105809	8	0	1000008	1	8		1000008	4
9	0.62870589	1000009	0.0170025	9	1	1000009	0	9	3	1000009	
10	0.20985996	1000010	0.94852674	10	0	1000010	0	10		1000010	
11	0.16362251	1000011	0.16870064	11	0	1000011	0	11		1000011	
12	0.88677348	1000012	0.14006783	12	0	1000012	0	12		1000012	
13	0.53394577	1000013	0.71330777	13	1	1000013	1	13	7	1000013	0
14	0.02050597	1000014	0.4113108	14	0	1000014	1	14		1000014	1
15	0.17593169	1000015	0.11995511	15	0	1000015	0	15		1000015	
16	0.16412176	1000016	0.66326643	16	0	1000016	1	16		1000016	0
17	0.10236181	1000017	0.48727278	17	0	1000017	1	17		1000017	0
18	0.03010964	1000018	0.61007736	18	0	1000018	1	18		1000018	1
19	0.07399961	1000019	0.9432912	19	0	1000019	0	19		1000019	
20	0.97619597	1000020	0.45035143	20	0	1000020	1	20		1000020	0
21	0.51493308	1000021	0.53858617	21	1	1000021	1	21	1	1000021	2
22	0.99209849	1000022	0.99964845	22	0	1000022	0	22		1000022	
23	0.44665205	1000023	0.07095363	23	1	1000023	0	23	2	1000023	
24	0.20260072	1000024	0.68131196	24	0	1000024	1	24		1000024	1
25	0.11147125	1000025	0.07280669	25	0	1000025	0	25		1000025	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
999974	0.92199523	1999974	0.16019063	999974	0	1999974	0	999974		1999974	
999975	0.50389546	1999975	0.81382069	999975	1	1999975	0	999975	0	1999975	
999976	0.36249993	1999976	0.10515299	999976	1	1999976	0	999976	0	1999976	
999977	0.30650117	1999977	0.57422722	999977	1	1999977	1	999977	1	1999977	1
999978	0.19628073	1999978	0.20561958	999978	0	1999978	0	999978		1999978	
999979	0.56018548	1999979	0.79643828	999979	1	1999979	1	999979	0	1999979	0
999980	0.67268684	1999980	0.30826107	999980	1	1999980	1	999980	5	1999980	0
999981	0.13620441	1999981	0.66794275	999981	0	1999981	1	999981		1999981	2
999982	0.24433731	1999982	0.20564811	999982	0	1999982	0	999982		1999982	
999983	0.25958121	1999983	0.93101998	999983	0	1999983	0	999983		1999983	
999984	0.17305074	1999984	0.72408828	999984	0	1999984	1	999984		1999984	0
999985	0.12245224	1999985	0.58238654	999985	0	1999985	1	999985		1999985	5
999986	0.55796322	1999986	0.01903563	999986	1	1999986	0	999986	2	1999986	
999987	0.93913045	1999987	0.21723737	999987	0	1999987	0	999987		1999987	
999988	0.29379804	1999988	0.22464552	999988	0	1999988	0	999988		1999988	
999989	0.44794785	1999989	0.82818944	999989	1	1999989	0	999989	0	1999989	
999990	0.45920699	1999990	0.8514706	999990	1	1999990	0	999990	2	1999990	
999991	0.07835394	1999991	0.79413087	999991	0	1999991	1	999991		1999991	0
999992	0.04257395	1999992	0.55188352	999992	0	1999992	1	999992		1999992	0
999993	0.72396565	1999993	0.54078261	999993	1	1999993	1	999993	0	1999993	0
999994	0.41652044	1999994	0.66392679	999994	1	1999994	1	999994	0	1999994	0
999995	0.49323384	1999995	0.30670293	999995	1	1999995	1	999995	2	1999995	0
999996	0.07348872	1999996	0.60872318	999996	0	1999996	1	999996		1999996	0
999997	0.81135958	1999997	0.79319603	999997	0	1999997	1	999997		1999997	1
999998	0.75528985	1999998	0.02432142	999998	1	1999998	0	999998	0	1999998	
999999	0.71210296	1999999	0.40230718	999999	1	1999999	1	999999	0	1999999	0
1000000	0.61811489	2000000	0.99316438	1000000	1	2000000	0	1000000	0	2000000	

De la Figura 53, se realizó un conteo para determinar frecuencia absoluta con la que aparece cada número de hueco y se consolido en la Tabla 29.

**Tabla 29***Frecuencia Absoluta del Número de Huecos*

N.º Huecos	0	1	2	3	4	5	6						
P <sub>(i)</sub> (Frecuencia)	501257	250108	124557	62364	31304	15654	7689						
N.º Huecos	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
P <sub>(i)</sub> (Frecuencia)	4027	1917	955	524	268	104	64	22	19	6	5	2	1

De la Tabla 29, se agrupan los números de hueco con una cantidad pequeña de frecuencias observadas, tal como lo indica la Tabla 30.

**Tabla 30***Frecuencia Absoluta del Número de Huecos Agrupados*

N.º Huecos	Frecuencia Observada
0	501257
1	250108
2	124557
3	62364
4	31304
5	15654
>= 6	15603
10000847	

Donde al tener 7 marcas de clase, se tiene  $m = 7$



A partir de la Tabla 30 y por medio de las fórmulas 1, 2 y 3, se construyó la Tabla 31.

**Tabla 31**

*Tabla de Bondad de Ajuste para Prueba de Huecos*

N.º Huecos	P(i)	Observada (i)	Esperada (i)	Xi <sup>2</sup>
0	$0.5 = \theta(1 - \theta)^0$	501257	$500423.5 = \text{Pi} * 1000847$	1.388269
1	$0.25 = \theta(1 - \theta)^1$	250108	$250211.75 = \text{Pi} * 1000847$	0.04302
2	$0.125 = \theta(1 - \theta)^2$	124557	$125105.875 = \text{Pi} * 1000847$	2.40807
3	$0.0625 = \theta(1 - \theta)^3$	62364	$62552.9375 = \text{Pi} * 1000847$	0.570675
4	$0.03125 = \theta(1 - \theta)^4$	31304	$31276.46875 = \text{Pi} * 1000847$	0.024235
5	$0.015625 = \theta(1 - \theta)^5$	15654	$15638.23438 = \text{Pi} * 1000847$	0.015894
$\geq 6$	$0.015625 = (1 - \theta)^6$	15603	$15638.23438 = \text{Pi} * 1000847$	0.079386
	Total	1000847	1000847	$4.52955 = x_0^2$

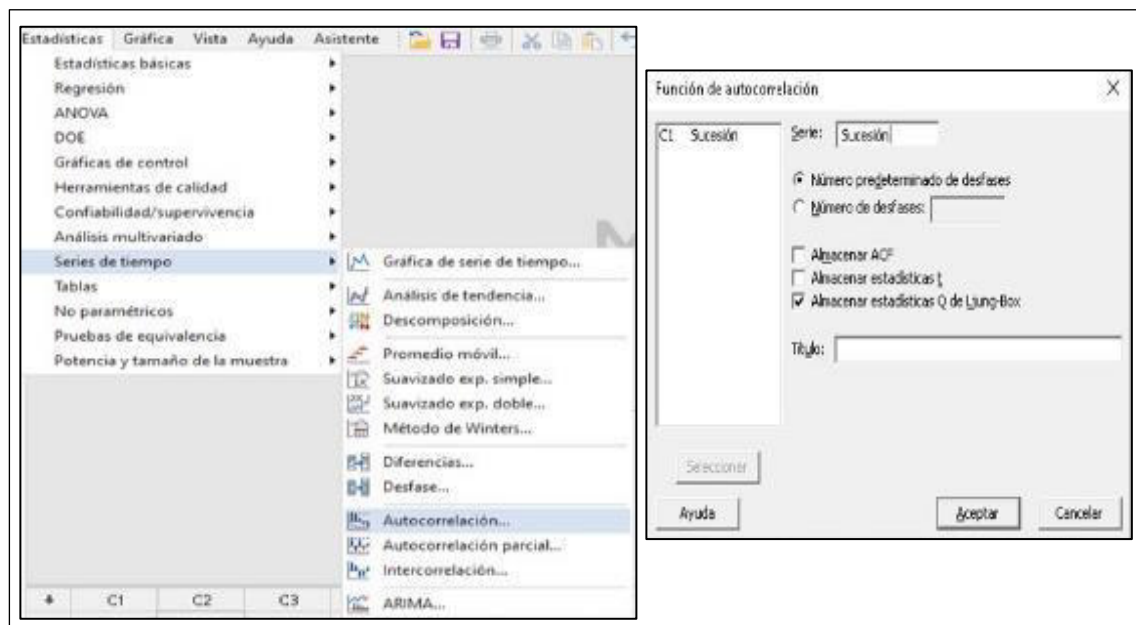
## Anexo 46. Prueba de Autocorrelaciones en Minitab 19

Se hace uso de software Minitab 19, para el cálculo del estadístico LBQ para la muestra de 2 millones de números pseudoaleatorios.

**Menú:** Estadísticas → Series de tiempo → Autocorrelación

**Figura 54**

*Cuadro de Diálogo de Función de Autocorrelación en Minitab 19*



Al dar aceptar en el Cuadro de Diálogo de la Figura 54, se obtuvo las autocorrelaciones para una cantidad de desfases de 1459 (Figura 55), cantidad recomendada por el Manual de Soporte Minitab 18 para nuestro tamaño de sucesión de 2 millones. No se muestra todas las filas de la Tabla por que la cantidad de filas es extensa.

Figura 55

Resultados de Ejecución de Autocorrelación en Minitab 19

Desfase	ACF	T	LBQ
1	-0.0010244	-1.45	2.10
2	-0.0009295	-1.31	3.83
3	0.0008057	1.14	5.13
4	0.0004289	0.61	5.49
5	-0.0006452	-0.91	6.33
6	0.0007133	1.01	7.34
7	-0.0009706	-1.37	9.23
8	0.0011539	1.63	11.89
9	0.0001201	0.17	11.92
10	0.0003273	0.46	12.13
11	0.0005381	0.76	12.71
12	-0.0001339	-0.19	12.75
13	-0.0008989	-1.27	14.36
14	0.0001665	0.24	14.42
15	0.0006088	0.86	15.16
16	0.0001788	0.25	15.23

1442	-0.0004753	-0.67	1451.00
1443	-0.0005153	-0.73	1451.53
1444	0.0000349	0.05	1451.53
1445	0.0001964	0.28	1451.61
1446	0.0003427	0.48	1451.84
1447	0.0010809	1.53	1454.18
1448	-0.0003981	-0.56	1454.50
1449	0.0007316	1.03	1455.57
1450	-0.0010924	-1.54	1457.96
1451	0.0004429	0.63	1458.35
1452	-0.0005627	-0.80	1458.98
1453	-0.0011979	-1.69	1461.86
1454	-0.0005921	-0.84	1462.56
1455	0.0005726	0.81	1463.21
1456	-0.0006102	-0.86	1463.96
1457	0.0007166	1.01	1464.99
1458	0.0004429	0.63	1465.38
1459	-0.0006053	-0.86	1466.11

De la Figura 55, se extrajeron los valores LBQ a partir de los cuales se construyó la Tabla 31, donde se utilizó Excel para el  $Q_{teórico}$ , según Fórmula 4 (con un nivel de confianza del 95%):

**Tabla 32***Frecuencia Absoluta del Número de Huecos Agrupados*

Desfase (k)	Q de Ljung-Box Calculado (Minitab)	Estadístico Q teórico (INV.CHICUAD(0.95;Desfase(k)))
1	2.098773853	3.841458821 = INV.CHICUAD(0.95;1)
2	3.826746267	5.991464547 = INV.CHICUAD(0.95;2)
3	5.125123695	7.814727903 = INV.CHICUAD(0.95;3)
4	5.493085714	9.487729037 = INV.CHICUAD(0.95;4)
5	6.325724273	11.07049769 = INV.CHICUAD(0.95;5)
6	7.343400869	12.59158724 = INV.CHICUAD(0.95;6)
7	9.227588233	14.06714045 = INV.CHICUAD(0.95;7)
8	11.89052875	15.50731306 = INV.CHICUAD(0.95;8)
9	11.91936015	16.9189776 = INV.CHICUAD(0.95;9)
10	12.13361352	18.30703805 = INV.CHICUAD(0.95;10)
11	12.71271246	19.67513757 = INV.CHICUAD(0.95;11)
12	12.74858193	21.02606982 = INV.CHICUAD(0.95;12)
13	14.36446041	22.36203249 = INV.CHICUAD(0.95;13)
14	14.41990094	23.6847913 = INV.CHICUAD(0.95;14)
15	15.16110796	24.99579014 = INV.CHICUAD(0.95;15)
...	...	...
1445	1451.607376	1534.547571 = INV.CHICUAD(0.95;1445)
1446	1451.842461	1535.578168 = INV.CHICUAD(0.95;1446)
1447	1454.181023	1536.608754 = INV.CHICUAD(0.95;1447)
1448	1454.498167	1537.63933 = INV.CHICUAD(0.95;1448)
1449	1455.569379	1538.669895 = INV.CHICUAD(0.95;1449)
1450	1457.957626	1539.70045 = INV.CHICUAD(0.95;1450)
1451	1458.350271	1540.730994 = INV.CHICUAD(0.95;1451)
1452	1458.984001	1541.761527 = INV.CHICUAD(0.95;1452)
1453	1461.856215	1542.79205 = INV.CHICUAD(0.95;1453)
1454	1462.55795	1543.822562 = INV.CHICUAD(0.95;1454)
1455	1463.214281	1544.853064 = INV.CHICUAD(0.95;1455)
1456	1463.959533	1545.883556 = INV.CHICUAD(0.95;1456)
1457	1464.98731	1546.914037 = INV.CHICUAD(0.95;1457)
1458	1465.379883	1466.113127 = INV.CHICUAD(0.95;1458)
1459	1466.113127	1548.974967 = INV.CHICUAD(0.95;1459)

Nota. Se presentaron hasta un desfase igual a 1459,

### Anexo 47. Prueba de Póker en Excel

Para aplicar la Prueba de Póker en Excel, a los números reales generados por el Generador Congruencial de Números Pseudoaleatorios se les separo en sus 5 dígitos decimales, a partir de la coma decimal, según la fórmula en Excel: “C3=EXTRAE(B3;3;1)” y de manera análoga para el resto de celdas comprendidas en las columnas C:G de la subtabla *Dígitos de cada Número Pseudoaleatorio* de la Figura 56.

**Figura 56**

*Clasificador de Categorías de Prueba de Póker en Excel*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Números PseudoAleatorios		Dígitos de cada Número PseudoAleatorio					Dígitos Sin Repetición(SR) de cada Número PseudoAleatorio					Contador de Repetición de cada Dígito					CLASIFICADOR
2	Posición	Xi	Dígito 1	Dígito 2	Dígito 3	Dígito 4	Dígito 5	Dígito 1 SR	Dígito 2 SR	Dígito 3 SR	Dígito 4 SR	Dígito 5 SR	Contador D1	Contador D2	Contador D3	Contador D4	Contador D5	
3	1	0.73135	7	3	1	3	5	7		1	3	5	1		1	2	1	1P
4	2	0.09479	0	9	4	7	9	0	9	4	7	9	1	1	1	1	1	TD
5	3	0.30215	3	0	2	1	5	3	0	2	1	5	1	1	1	1	1	TD
6	4	0.96997	9	6	9	9	7		6		9	7		1		3	1	T
7	5	0.6085	6	0	8	5	0	6		8	5	0	1		1	1	2	1P
8	6	0.91326	9	1	3	2	6	9	1	3	2	6	1	1	1	1	1	TD
9	7	0.7976	7	9	7	6	0		9	7	6	0		1	2	1	1	1P
10	8	0.27996	2	7	3	9	6	2	7	3	9	6	1	1	1	1	1	TD
11	9	0.62871	6	2	8	7	1	6	2	8	7	1	1	1	1	1	1	TD
12	10	0.20986	2	0	9	8	6	2	0	9	8	6	1	1	1	1	1	TD
13	11	0.16362	1	6	3	6	2	1		3	6	2	1		1	2	1	1P
14	12	0.88677	8	8	6	7	7		8	6	7	7		2	1		2	2P
15	13	0.53395	5	3	3	9	5			3	9	5			2	1	2	2P
16	14	0.02051	0	2	0	5	1		2	0	5	1		1	2	1	1	1P
17	15	0.17593	1	7	5	9	3	1	7	5	9	3	1	1	1	1	1	TD
18	16	0.16412	1	6	4	1	2		6	4	1	2		1	1	2	1	1P
19	17	0.19236	1	0	2	3	6	1	0	2	3	6	1	1	1	1	1	TD
20	18	0.93011	0	3	0	1	1		3	0		1		1	2		2	2P
21	19	0.074	0	7	4	0	0		7	4		0		1	1		3	T
22	20	0.9762	9	7	6	2	0	9	7	6	2	0	1	1	1	1	1	TD
23	21	0.51493	5	1	4	9	3	5	1	4	9	3	1	1	1	1	1	TD
24	22	0.9921	9	9	2	1	0		9	2	1	0		2	1	1	1	1P
25	23	0.44665	4	4	6	6	5		4		6	5		2		2	1	2P
26	24	0.3026	2	0	2	6	0			2	6	0			2	1	2	2P
27	25	0.11147	1	1	1	4	7			1	4	7			3	1	1	T

- La subtabla “Dígitos Sin Repetición (SR) de cada Número Pseudoaleatorio” resulta de solo mantener un solo dígito único por cada fila de la subtabla “Dígitos de cada Número Pseudoaleatorio”, en caso de tener dos o más

dígitos dichas posiciones quedarán en blanco en las columnas H:L. donde la celda H3 = SI(Y(C3<>D3;C3<>E3;C3<>F3;C3<>G3);C3;""), la cual compara el dígito de C3 con los ubicados en D3, E3, F3, G3; de tal manera que si encuentra un repetido, lo deja en blanco.

- Según las celdas de los Dígitos Sin Repetición, se contabilizó en las columnas M:Q, de la subtabla “Contador de Repetición de cada Dígito” la cantidad de veces que aparecía un número sin repetir, mediante la siguiente fórmula en M3 = SI(H3<>"";CONTAR.SI(\$C3:\$G3;C3;"")), las demás celdas de manera análoga.
- A partir de la Subtabla “Contador de Repetición de cada Dígito”, se usa la Tabla 33 para realizar la clasificación de cada número real generado. Dicha clasificación consolidada en la columna R de la hoja de Excel (Figura 55):

R3=SI(Y(CONTAR.SI(M3:Q3;2)=1;CONTAR.SI(M3:Q3;3)=1);"TP";SI(CONTAR.SI(M3:Q3;2)=2;"2P";SI(MAX(M3:Q3)=2;"1P";SI(MAX(M3:Q3)=3;"T";SI(MAX(M3:Q3)=4;"P";SI(MAX(M3:Q3)=5;"Q";SI(MAX(M3:Q3)=1;"TD";""))))))))

**Tabla 33**

*Categorías de Distintas Posibilidades para Prueba de Póker de 5 Dígitos*

CATEGORÍAS	DESCRIPCIÓN
TD	<b>TODOS DIFERENTES (TD):</b> Los 5 dígitos son diferentes entre ellos
1P	<b>1 PAR (1P):</b> Un par de dígitos iguales, y los 3 restantes distintos entre ellos
2P	<b>2 PARES (2P):</b> 2 Pares de dígitos iguales, y el último dígito distinto
TP	<b>1 TERCIA 1 PAR (TP):</b> 3 dígitos iguales y los 2 restantes iguales
T	<b>1 TERCIA (T):</b> 3 dígitos iguales y los 2 restantes distintos entre ellos
P	<b>POKER (P):</b> 4 dígitos iguales y el último dígito distinto
Q	<b>QUINTILLA (Q):</b> Los 5 dígitos iguales entre sí.

A partir de la categorización de cada número pseudoaleatorio (columna R de la hoja de Excel indicada en la Figura 55), se construyó la Tabla 34.

**Tabla 34**

*Cálculo de Estadístico para Prueba de Póker*

<b>Categorías</b>	<b>O<sub>i</sub></b>	<b>Prob(i)</b>	<b>E<sub>i</sub></b>	<b>(O<sub>i</sub>-E<sub>i</sub>)<sup>2</sup> / E<sub>i</sub></b>
TD	605054	0.3024	604800 = 0.3024*2000000	0.1066733
1P	1008489	0.504	1008000 = 0.504*2000000	0.2372232
2P	215742	0.108	216000 = 0.108*2000000	0.3081667
TP	18089	0.009	18000 = 0.009*2000000	0.4400556
T	143404	0.072	144000 = 0.072*2000000	2.4667778
P	9035	0.0045	9000 = 0.0045*2000000	0.1361111
Q	187	0.0001	200 = 0.0001*2000000	0.845
$\sum_{i=1}^7 O_i = 2000000$				$X_o^2 = 4.5400076$

- La Frecuencia observada (O<sub>i</sub>) fue calculada al realizar el conteo según categoría en la columna R: "CLASIFICADOR"
- La Columna Probabilidad (Prob<sub>(i)</sub>) fue extraída de la Tabla 35 brindada por Ramírez (2012):

**Tabla 35**

*Probabilidades Teóricas según Categorías para Prueba de Póker*

<b>Categorías</b>	<b>TD</b>	<b>1P</b>	<b>2P</b>	<b>TP</b>	<b>T</b>	<b>P</b>	<b>Q</b>
<b>Probabilidad Teórica</b>	0.3024	0.504	0.108	0.009	0.072	0.0045	0.0001

- La Frecuencia Esperada fue calculada de la siguiente manera:  
$$E_i = \text{Prob}(i) * \sum_{i=1}^7 O_i$$
- El cálculo para el  $X_{\text{Calculado}}$  fue realizado mediante:  $\sum_{i=1}^7 (O_i - E_i)^2 / E_i$

Donde el estadístico teórico:  $x_{\text{teorico}}^2 = x_{(0.05, 7-1)}^2 = 12.592$ , el cual es calculado en Excel mediante la fórmula: INV.CHICUAD(0.95;3)

Por lo tanto:

Como  $X_o^2 = 4.5400076 < 12.592 = x_{\text{teorico}}^2$ , no se tiene suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo cual se acepta que los dígitos están ordenados al azar.

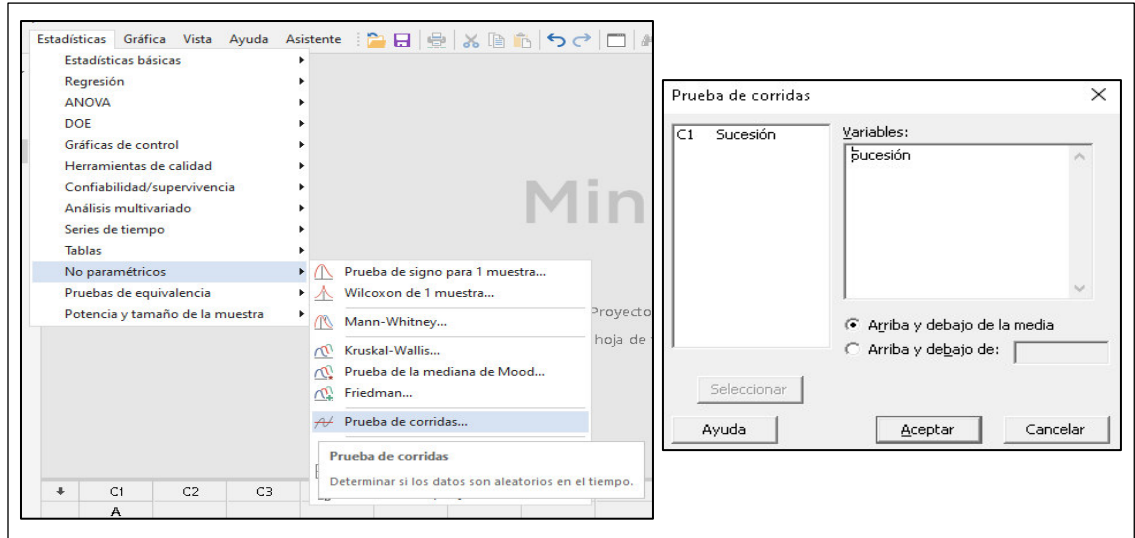


### Anexo 48. Prueba de Corridas en Minitab 19

**Menú:** Estadísticas → No paramétricos → Prueba de Corridas

**Figura 57**

*Cuadro de Diálogo para Prueba de Corridas en Minitab*



Al seleccionar la columna donde se registran los datos, se obtiene los resultados indicados en la Figura 58.

**Figura 58**

*Resultados de Ejecución de Prueba de Corridas en Minitab 19*

Estadísticas descriptivas				Prueba		
Número de observaciones				Hipótesis nula	H <sub>0</sub> : El orden de los datos es aleatorio	
Hipótesis alterna H <sub>1</sub> : El orden de los datos no es aleatorio				Número de corridas		
N	K	≤ K	> K	Observado	Esperado	Valor p
2000000	0.500267	999708	1000292	1000497	1000000.91	0.483
K = media de la muestra						

Nota. Como p-value= 0.483 > nivel de significación (0.05), aceptamos la hipótesis nula y que el orden de los datos es aleatorio.

**Anexo 49.** Descripción de Posibles Funciones Aptitud y Agrupación según  
Secuencia de Soluciones determinadas

Al buscar minimizar la distancia recorrida en las rutas de recolección y transporte, se buscó definir funciones decrecientes por el motivo que dichas funciones cumplen que:

- A mayor distancia recorrida menor será la calidad de su solución como aporte.
- A menor distancia recorrida mayor será la calidad de su solución como aporte.

Y al ser las distancias recorridas números reales positivos, se buscó principalmente Funciones Decrecientes en  $]0, \infty[$ .

A continuación, en la Tabla 36, se definieron algunas funciones principalmente Decrecientes para ser analizadas como candidatas a ser usadas como Función Aptitud, las cuales fueron agrupadas según la misma sucesión de 30 soluciones generadas al ser tomadas como Función Aptitud durante 30 ejecuciones del Algoritmo Genético (para mayor detalle ver Tabla 37).

**Tabla 36**

*Agrupación de Función Aptitud según Secuencia de 30 soluciones encontradas durante la ejecución del Algoritmo Genético.*

Orden	Descripción	Fórmula	-AGRUPACION SECUENCIAL [Tipo-(Número)]
1		$1 / (Di * i^{20})^{200}$	T-1
2		$(Di * i^5)^2$	T-1
3		$1 / (Di * i^2)^2$	T-1
4		$1 / (Di * i^5)^3$	T-1
5		$1 / (Di * i^2)^3$	T-1
6		$1 / (Di * i^5)^4$	T-1
7		$1 / (Di * i^2)^4$	T-1
8		$1 / (Di * i^5)^{10}$	T-1
9		$1 / (Di * i^2)^{10}$	T-1
10		$[1 / (Di^2)] * [i^5]$	T-5
11		$[1 / (Di^{20})] * [i^5]$	T-6
12		$[1 / (Di^{200})] * [i^{200}]$	T-3
13		$[1 / (Di^{20})] * [i^{20}]$	T-4
14		$[1 / (Di^{0.1})] * [i^{200}]$	T-7
15		$[1 / (Di^5)] * [i^5]$	T-4
16		$[1 / (Di^{0.1})] * [i^1]$	T-8
17		$1 / (Di^2)$	T-2
18		$1 / (Di^{50})$	T-2
19		$1 / (Di^{100})$	T-3
20		$1 / (Di^{0.00000000001})$	T-9
21		$1 / (Di^{0.0001})$	T-2
22		$1 / (Di^{1000})$	T-3
23		$(1 / \ln(Di))^1$	T-2
24		$(1 / \ln(Di))^3$	T-2
25		$1 / \{ \ln[ Di * (\ln(Di))^{25} ] \}^{50}$	T-2
26		$1 / \{ \ln[ Di * (\ln(Di))^{100} ] \}^{100}$	T-2
27		$1 / \{ \ln[ Di * (\ln(Di))^{5} ] \}^{5}$	T-2
28		$1 / \{ [ Di * (\ln(Di))^{10} ] \}^{10}$	T-2
29		$1 / \{ [ Di * (\ln(Di))^{100} ] \}^{100}$	T-3
30		$1 / \{ [ Di * (\ln(Di))^{0.0001} ] \}^{10}$	T-2
31		$1 / [ \text{ArcTan}(Di) ]^{25}$	T-2
32		$1 / [ (\text{ArcTan}(Di))^{20} ]^{25}$	T-2
33		$(1 / \ln(Di)^5) * 1000000$	T-2

Nota. Fórmulas con igual clasificación "T-(Número)" generaron una misma secuencia de soluciones para 30 ejecuciones del Algoritmo Genético.

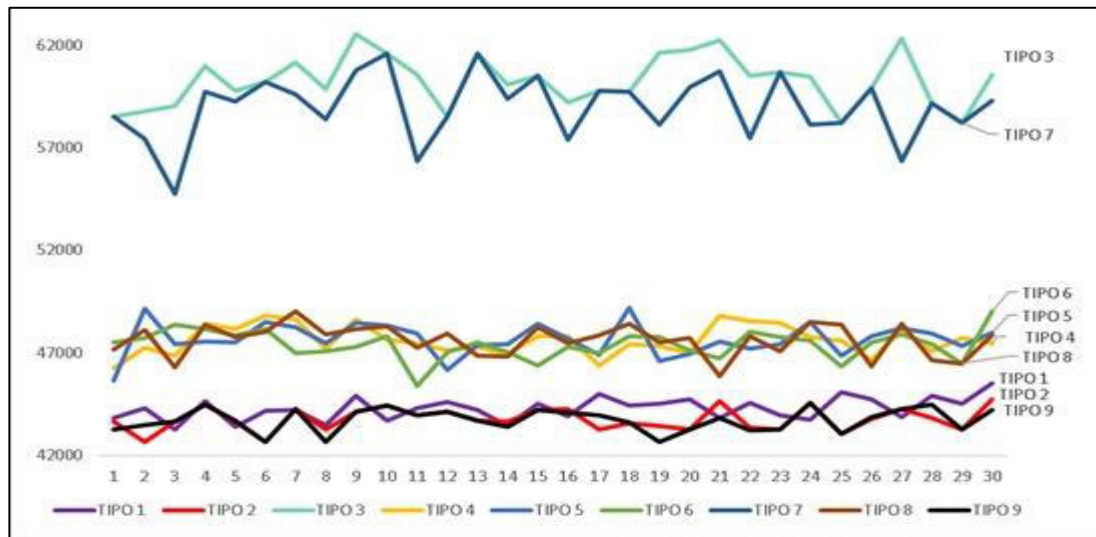
**Tabla 37***Secuencia de 30 Soluciones brindadas por cada Tipo de Fórmula para Ruta G-01*

<b>Orden</b>	<b>TIPO 1</b>	<b>TIPO 2</b>	<b>TIPO 3</b>	<b>TIPO 4</b>	<b>TIPO 5</b>	<b>TIPO 6</b>	<b>TIPO 7</b>	<b>TIPO 8</b>	<b>TIPO 9</b>
1	43827	43647	58497	46245	45646	47488	58497	47178	43260
2	44318	42647	58786	47232	49156	47703	57439	48133	43456
3	43240	43659	59050	46864	47415	48383	54759	46275	43659
4	44637	44485	60986	48401	47544	48166	59713	48377	44485
5	43370	43639	59751	48168	47484	47871	59248	47781	43691
6	44176	42647	60220	48785	48485	48155	60220	48017	42647
7	44213	44266	61157	48628	48233	46995	59582	49041	44266
8	43483	43247	59866	47220	47441	47077	58379	47875	42647
9	44925	44129	62564	48626	48467	47302	60778	48135	44129
10	43698	44430	61587	47638	48345	47801	61587	48269	44430
11	44298	43971	60549	47455	47940	45374	56333	47248	43971
12	44598	44136	58493	47121	46143	47035	58493	47954	44136
13	44190	43671	61603	47303	47371	47487	61577	46836	43671
14	43416	43643	60066	46928	47407	47029	59395	46809	43401
15	44522	44193	60521	47817	48420	46395	60521	48237	44193
16	43928	44274	59222	47819	47672	47277	57403	47479	44062
17	44982	43274	59754	46391	46892	46977	59754	47835	43946
18	44441	43563	59740	47405	49216	47828	59740	48400	43612
19	44518	43439	61652	47334	46581	47750	58131	47507	42647
20	44724	43247	61770	47002	46937	47094	59949	47724	43260
21	43831	44624	62248	48814	47533	46735	60738	45863	43834
22	44573	43329	60514	48553	47219	48041	57477	47805	43201
23	43934	43264	60689	48474	47432	47783	60689	47072	43264
24	43738	44569	60480	47785	48523	47592	58141	48508	44569
25	45056	43048	58228	47590	46845	46330	58228	48371	43048
26	44752	43761	59915	46636	47800	47501	59915	46348	43883
27	43880	44235	62308	48176	48214	47902	56342	48433	44262
28	44890	43815	59167	47069	47933	47436	59167	46641	44470
29	44509	43260	58205	47712	47338	46476	58205	46469	43247
30	45515	44728	60558	47467	47999	49034	59287	47850	44194

De las fórmulas definidas, se trabajó con las clasificaciones T-(Numeral) para realizar la Gráfica de la Figura 59, de la cual se visualiza que las secuencias de soluciones brindadas por las fórmulas Tipo 3 y Tipo 7, son las más deficientes, seguidas de las Tipo 6, Tipo 5, Tipo 4 y Tipo 8. Por último, se observa que las mejores soluciones son las brindadas por las fórmulas Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 9.

**Figura 59**

*Comportamiento de Secuencia de 30 Soluciones encontradas según Tipo de Fórmula*



## Anexo 50. Análisis Minitab – Prueba de Games-Howell para Medias de la Sucesión de Soluciones según Tipo de Fórmula

A) Al realizar el análisis en Minitab 19 (datos de Tabla 37), se verificó lo siguiente:

- La normalidad de los sucesiones “Tipo-(Número)” con el p-value.

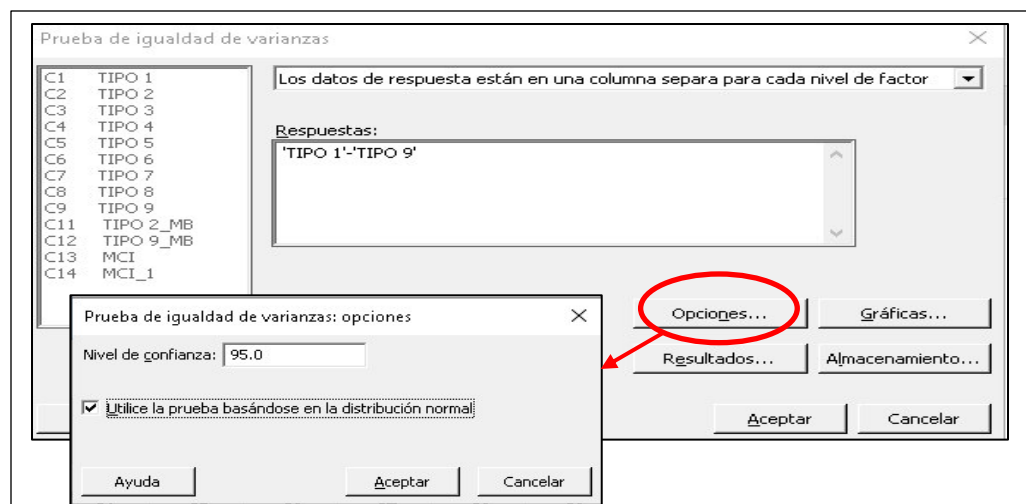
Se realizó prueba de normalidad en Minitab 19 a cada sucesión Tipo-(Número) encontrándose un p-value  $> 0.05$ . Por tanto, no tenemos suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y la aceptamos. (Sucesiones provienen de una distribución normal).

- La no igualdad entre las varianzas de las sucesiones “Tipo-(Número).

Estadísticas → ANOVA → Prueba de igualdad de varianzas, donde se activa check box *Utilice la prueba basándose en la distribución normal*.

### Figura 60

*Prueba de Igualdad de Varianzas en Minitab 19 para Secuencia de 30 Soluciones según Tipo de Fórmula Utilizada*



**Figura 61**

*Resultados de Prueba de Igualdad de Varianzas en Minitab 19 para Secuencia de 30 Soluciones según Tipo de Fórmula Utilizada*

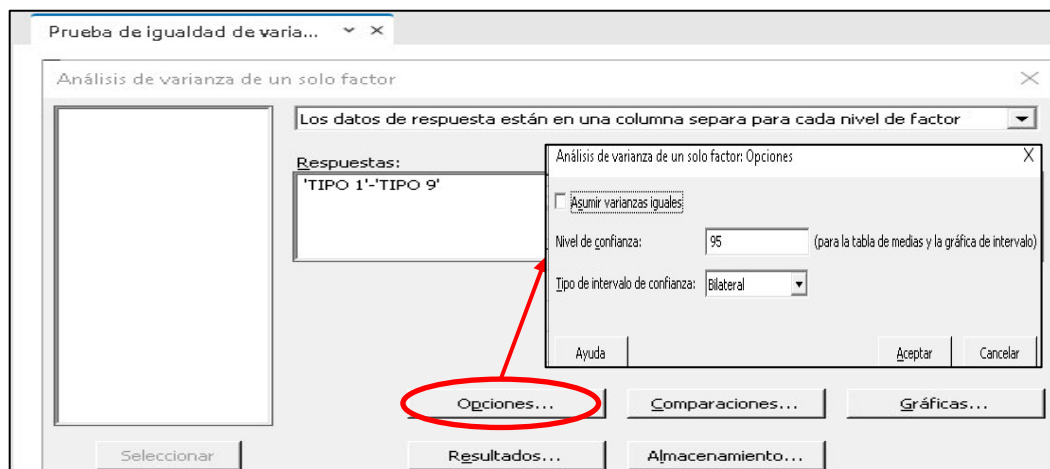
Método		Pruebas		
Hipótesis nula	Todas las varianzas son iguales	Método	Estadística de prueba	Valor p
Hipótesis alterna	Por lo menos una varianza es diferente	Comparaciones múltiples	—	0.000
Nivel de significancia $\alpha = 0.05$		Levene	7.39	0.000

De la Figura 61, como Valor  $p < 0.05$ , rechazamos la hipótesis nula y asumimos que al menos una varianza es distinta al resto.

B) Por lo cual, aplicamos ANOVA de un solo factor tomando la prueba de Games-Howell. Menú: Estadísticas → ANOVA → Un solo factor... Obteniendo el siguiente cuadro de diálogo de la Figura 62, donde dejamos sin seleccionar el Check box de “Asumir varianzas iguales”

**Figura 62**

*Prueba ANOVA de Un Solo Factor en Minitab 19 para Secuencia de 30 Soluciones según Tipo de Fórmula Utilizada*

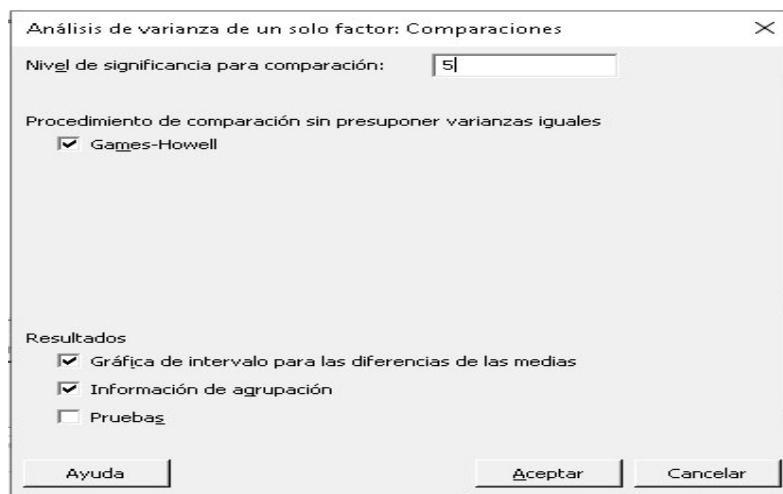


Aceptamos y vamos a “Comparaciones”, aparece el siguiente cuadro donde indica que el procedimiento de comparación será el de Games-Howell, el cual no presupone igualdad de varianzas (Ver Figura 63).

**Figura 63**

*Cuadro de Diálogo para Análisis de Varianza de un solo factor aplicando*

*Procedimiento de comparación Sin Presuponer Varianzas Iguales: Games-Howell*



**Figura 64**

*Resultados de Comparación de Medias utilizando el Procedimiento de Games-Howell*

**Agrupar información utilizando el método de Games-Howell y una confianza de 95%**

Factor	N	Media	Agrupación
TIPO 3	30	60272	A
TIPO 7	30	58990	B
TIPO 5	30	47654	C
TIPO 4	30	47622	C
TIPO 8	30	47616	C
TIPO 6	30	47401	C
TIPO 1	30	44273	D
TIPO 2	30	43761	E
TIPO 9	30	43718	E

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*



De la figura 64, elegimos entre fórmulas Tipo 9 y Tipo 2 que presentan medias estadísticamente iguales y menores al resto de Tipo-(Número). Como último criterio para elegir el tipo de fórmula, se comparó el uso de recursos computacionales (medidos en MB) para una muestra de 50, donde:

**Tabla 38**

*Consumo de Megabytes por cada Solución Generada según Fórmula Tipo2 y Tipo 9*

<b>ORDEN</b>	<b>TIPO 2</b>	<b>TIPO 9</b>	<b>ORDEN</b>	<b>TIPO 2</b>	<b>TIPO 9</b>
1	356 MB	362 MB	26	336 MB	402 MB
2	592 MB	681 MB	27	329 MB	341 MB
3	496 MB	493 MB	28	286 MB	258 MB
4	419 MB	537 MB	29	235 MB	173 MB
5	540 MB	175 MB	30	194 MB	612 MB
6	219 MB	336 MB	31	270 MB	513 MB
7	388 MB	499 MB	32	227 MB	425 MB
8	557 MB	194 MB	33	284 MB	405 MB
9	273 MB	308 MB	34	201 MB	493 MB
10	424 MB	392 MB	35	371 MB	379 MB
11	549 MB	444 MB	36	304 MB	176 MB
12	168 MB	463 MB	37	294 MB	452 MB
13	228 MB	446 MB	38	213 MB	192 MB
14	259 MB	420 MB	39	310 MB	383 MB
15	272 MB	370 MB	40	264 MB	183 MB
16	253 MB	299 MB	41	289 MB	297 MB
17	213 MB	225 MB	42	144 MB	250 MB
18	161 MB	662 MB	43	212 MB	376 MB
19	624 MB	613 MB	44	178 MB	223 MB
20	567 MB	586 MB	45	454 MB	225 MB
21	213 MB	568 MB	46	221 MB	206 MB
22	168 MB	547 MB	47	354 MB	189 MB
23	374 MB	530 MB	48	436 MB	252 MB
24	255 MB	490 MB	49	444 MB	322 MB
25	230 MB	453 MB	50	408 MB	322 MB
<hr/> Media (Tipo 2) = 312.12 MB			<hr/> Media (Tipo 9) = 382.84		

Por tanto escogemos las fórmulas Tipo 2

### Anexo 51. Funciones Aptitud Tipo 2 Disponibles

Del análisis para elegir el Tipo de Fórmula a usar realizado en el Anexo 50 se eligió a las Tipo 2, las cuales son mostradas a continuación:

**Tabla 39**

*Relación de Fórmulas Tipo 2 Disponibles*

<b>Orden</b>	<b>Descripción Fórmula</b>
17	$1 / (Di \wedge 2)$
18	$1 / (Di \wedge 50)$
21	$1 / (Di \wedge 0.0001)$
23	$(1 / \text{Ln}(Di))^1$
24	$(1 / \text{Ln}(Di))^3$
25	$1 / \{ \text{Ln}[ Di * (\text{Ln}(Di)) \wedge 25 ] \} \wedge 50$
26	$1 / \{ \text{Ln}[ Di * (\text{Ln}(Di)) \wedge 100 ] \} \wedge 100$
27	$1 / \{ \text{Ln}[ Di * (\text{Ln}(Di)) \wedge 5 ] \} \wedge 5$
28	$1 / \{ [ Di * (\text{Ln}(Di)) \wedge 10 ] \} \wedge 10$
30	$1 / \{ [ Di * (\text{Ln}(Di)) \wedge 0.0001 ] \} \wedge 10$
31	$1 / [ \text{ArcTan}(Di) ] \wedge 25$
32	$1 / [ (\text{ArcTan}(Di)) \wedge 20 ] \wedge 25$
33	$(1 / \text{Ln}(Di)^5) * 1000000$

De la cual seleccionamos la formula cuyo orden es 17:  $1 / (Di \wedge 2)$ .

## Anexo 52. Análisis para Determinación de Popsiz

**Tabla 40**

*Secuencia de Soluciones según Popsiz para Ruta G-01*

ORDEN	P100	P500	P1000	P1500	P2000	P2500	P3000	P4000	P5000	P6000
1	55897	50222	47157	43551	43647	43686	43676	43048	43561	43401
2	56552	47778	46847	45955	42647	43157	43725	43515	43247	43048
3	55257	47831	42957	44932	43659	43130	43545	43932	43048	43164
4	57481	46700	45334	44504	44485	44739	43048	43676	43157	43443
5	54755	48149	45080	44898	43639	43504	43839	43443	43133	43515
6	55317	44736	46458	43391	42647	43837	43996	43037	43644	42961
7	52459	47340	44544	45817	44266	44928	43856	42961	42961	43521
8	52158	46448	45623	43582	43247	43048	43378	44152	43260	43048
9	58028	46013	44928	44933	44129	42961	42554	43222	42647	43739
10	51415	47336	45887	44555	44430	43732	43545	43633	43048	42961
11	53710	44856	46192	44658	43971	43662	43187	43048	42647	43048
12	52886	44167	43643	43051	44136	44849	43413	43109	43048	42647
13	57583	47273	45578	45647	43671	42961	44060	42647	42961	42647
14	56401	46056	44217	45227	43643	43984	43290	42961	43048	43048
15	51745	46690	43602	43875	44193	43403	43247	43247	42647	42939
16	58041	46437	46787	44611	44274	43290	43048	42647	42647	42647
17	56420	48129	44830	44391	43274	43662	43384	43048	44076	42897
18	54895	45527	43978	44577	43563	43384	43048	43164	43164	43805
19	57293	46439	45171	46584	43439	43048	43247	43048	43064	42647
20	55738	48813	45248	42957	43247	43878	43203	43071	43201	43108
21	52515	49758	46358	44624	44624	43529	43401	43676	43164	43187
22	57617	46342	46273	43803	43329	43041	43140	43222	43048	43374
23	53005	47439	45781	43499	43264	43443	43352	42647	43164	43247
24	56830	46505	46530	44202	44569	44413	43734	43633	43401	42647
25	50662	44701	45305	44014	43048	42554	43356	43465	43685	43222
26	55520	46412	44543	43497	43761	44361	43191	43201	42647	42961
27	57147	45864	44981	44501	44235	44467	42554	44220	42961	42647
28	59074	46767	45044	45297	43815	43123	43635	43465	43164	43048
29	58401	45708	44649	45721	43260	43164	43238	43519	43243	43164
30	54319	47514	43760	45950	44728	46102	42647	42961	43167	44001

Se realizaron 30 ejecuciones por cada valor de Popsiz, obteniendo las soluciones mostradas en la Tabla 40. Posteriormente, se realizó el análisis en Minitab 19 para realizar el Procedimiento de Games-Howell para analizar la igualdad de medias para cada muestra según valor de Popsiz

A) Menú: Estadística→Estadísticas Básicas→Prueba de Normalidad, de donde se obtuvo el p-value el cual se adicionó a la Tabla 41:

**Tabla 41**

*P-value para Prueba de Normalidad para 30 Ejecuciones según Valor de Popsiz*

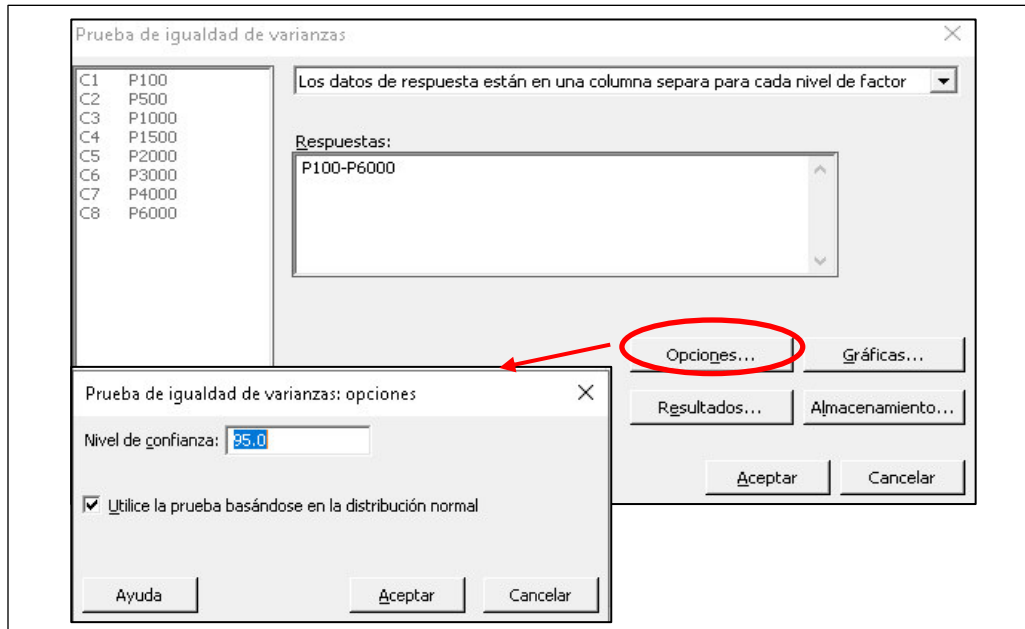
<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Mejor Solución</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>p-value</b>
100	30	55541.74	50662	2512.55	0.187
500	30	46921.94	44167	1616.23	0.504
1000	30	45046.26	42824	1001.72	0.918
1500	30	44398.02	42824	878.17	0.577
2000	30	43801.98	42647	515.42	0.426
<b>2500</b>	<b>30</b>	<b>43642.84</b>	<b>42554</b>	<b>655.48</b>	<b>0.012</b>
3000	30	43444.24	42554	454.26	0.352
4000	30	43345.8	42554	409.82	0.125
<b>5000</b>	<b>30</b>	<b>43160.26</b>	<b>42647</b>	<b>302.96</b>	<b>0.009</b>
6000	30	43110	42647	336.83	0.128
Total	300				

De la Tabla 41, se excluyó del análisis al Factor 2500 y Factor 5000, por no cumplir con el criterio de normalidad.

B) Se usó Minitab 19: Estadística→ANOVA→Prueba de igualdad de varianzas, se utilizó la prueba basándose en la distribución Normal.

**Figura 65**

*Cuadro de Diálogo para Prueba de Igualdad de Varianzas en Minitab 19*



De la Figura 65, al aceptar el cuadro de Diálogo se obtuvo el resultado indicado en la Figura 66:

**Figura 66**

*Resultados de Prueba de Igualdad de Varianzas en Minitab 19*

<b>Método</b>		<b>Pruebas</b>		
Hipótesis nula	Todas las varianzas son iguales			
Hipótesis alterna	Por lo menos una varianza es diferente			
Nivel de significancia $\alpha = 0.05$				
<i>Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales.</i>				
			Estadística	
		<u>Método de prueba</u>	<u>Valor p</u>	
		Bartlett	186.61	0.000

De la Figura 66, como valor  $p < 0.05$  rechazamos la hipótesis nula y asumimos que al menos una varianza es distinta al resto. Por tanto, se aplica el Procedimiento de Games-Howell para agrupar información.

C) Menú: Estadística → ANOVA → Un solo factor, donde “no se asume igualdad de varianzas” (de manera análoga a Figura 62 y Figura 63), obteniendo el reporte indicado en la Figura 67:

### Figura 67

#### Resultados de Prueba de Igualdad de Medias

<b>Método</b>		<b>Prueba de Welch</b>				
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales	GL				
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales	Fuente	Num GL	Den	Valor F	
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$				Valor p	
<i>No se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>		Factor	7	97.8787	150.49	0.000

De la Figura 67 como el Valor  $p < 0.05$ , rechazamos la hipótesis nula y asumimos que al menos una media es distinta al resto

### Figura 68

#### Resultados de Prueba de Igualdad

<b>Agrupar información utilizando el método de Games-Howell y una confianza de 95%</b>					
Factor	N	Media	Agrupación		
P100	30	55304	A		
P500	30	46798	B		
P1000	30	45243	C		
P1500	30	44560	C		
P2000	30	43761	D		
P3000	30	43351.2	E		
P4000	30	43287.3	E		
P6000	30	43124.4	E		

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

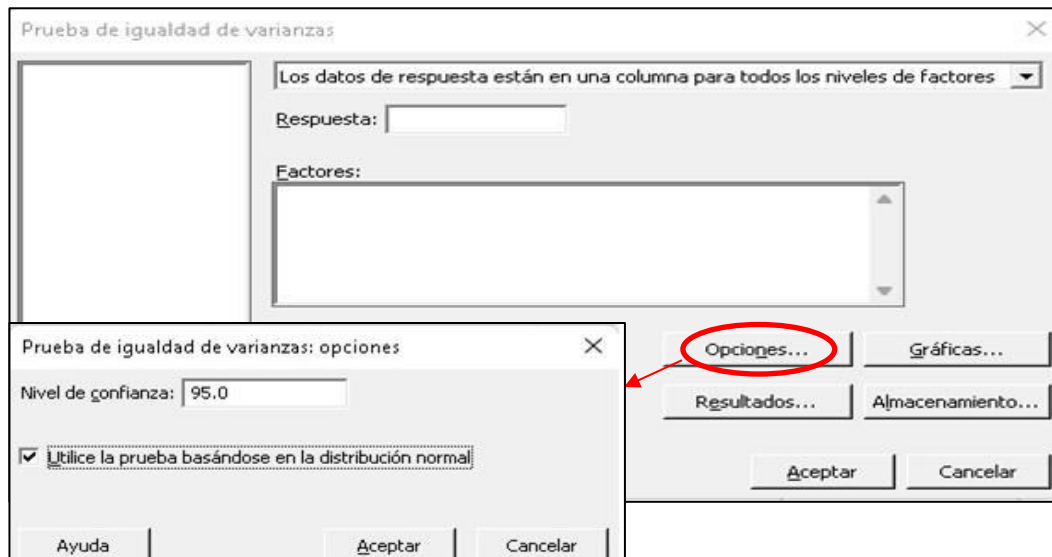
De la Figura 68, se recomienda utilizar un Popsi de 2000 o 3000. Y como no se pudo estudiar tamaños de Popsi de 2500 y 5000, por no cumplir el requisito de normalidad de datos, estos pasarán a un análisis posterior.

**Anexo 53.** Prueba de Rangos Múltiples de Tukey en Minitab 19 para Factor  
Popsize de 2000, 3000, 4000 y 6000

- A) Del anexo 55, al centrarnos en analizar tamaños de Popsize de 2000, 3000, 4000 y 6000, de tal manera, que se cumple el criterio de Normalidad para tales valores de Popsize (revisados en anexo 44).
- B) Se usó Minitab 19: Estadística→ANOVA→Prueba de igualdad de varianzas, se utilizó la prueba basándose en la distribución normal (Opciones), tal como se indica en la Figura 69.

**Figura 69**

*Cuadro de Diálogo de Análisis de un Factor con Igualdad de Varianzas*



En el Cuadro de Diálogo de la Figura 69, se obtuvo el resultado indicado en la Figura 70

**Figura 70***Resultados de Prueba de Igualdad de Varianzas para Distribuciones Normales*

<b>Método</b>		<b>Pruebas</b>		
Hipótesis nula	Todas las varianzas son iguales	Estadística		
Hipótesis alterna	Por lo menos una varianza es diferente	<u>Método de prueba</u> <u>Valor p</u>		
Nivel de significancia $\alpha = 0.05$		Bartlett	7.69	0.053
<i>Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales.</i>				

De la Figura 70, como Valor p > 0.05: no tenemos suficiente evidencia estadística para rechazar  $H_0$ . Por tanto, asumimos igualdad de varianzas y se procede a aplicar ANOVA de un solo factor: Estadísticas → ANOVA → Un solo Factor, donde en *Opciones* se marca la opción *Asumir varianzas iguales* y en el *Método de Comparación* se elige *Tukey* obteniendo los resultados indicados en la Figura 71.

**Figura 71***Resultados de Prueba de Tukey para Comparar Medias*

<b>Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%</b>				
<u>Factor</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Agrupación</u>	
P2000	30	43761	A	
P3000	30	43351.2	B	
P4000	30	43287.3	B	
P6000	30	43124.4	B	
<i>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</i>				

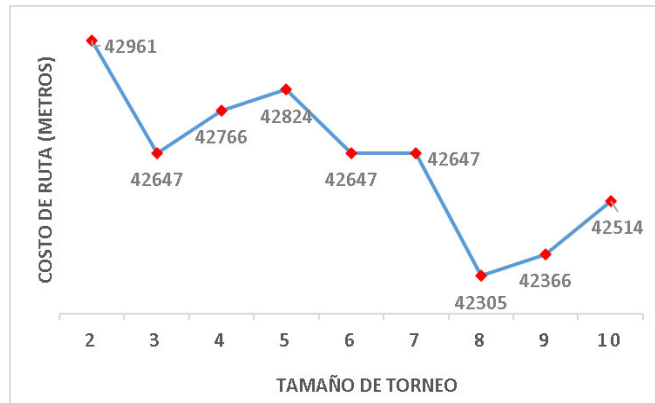
De la Figura 71, se confirma el uso de un tamaño de Popsize de 2000. Y como no se pudo estudiar tamaños de Popsize de 2500 y 5000, por no cumplir el requisito de normalidad de datos, estos pasaran a un análisis posterior.



**Anexo 54. Graficas de Mejor Solución según Tamaño de Torneo, Popsiz 2000**

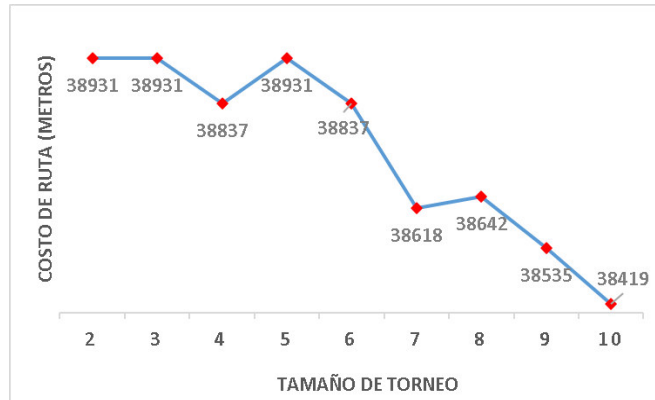
**PARA RUTA G-01**

Torneo	Mejor Solución
2	42961
3	42647
4	42766
5	42824
6	42647
7	42647
8	42305
9	42366
10	42514
11	53049



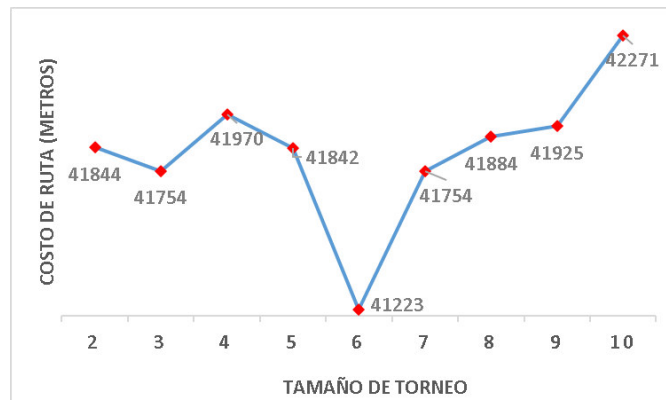
**PARA RUTA G-02**

Torneo	Mejor Solución
2	38931
3	38931
4	38837
5	38931
6	38837
7	38618
8	38642
9	38535
10	38419
11	42184



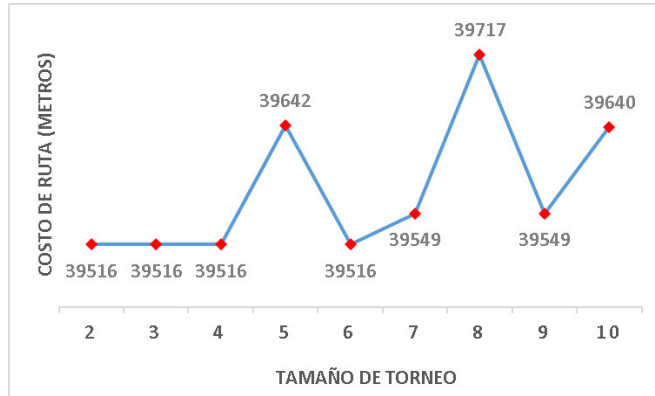
**PARA RUTA G-03**

Torneo	Mejor Solución
2	41844
3	41754
4	41970
5	41842
6	41223
7	41754
8	41884
9	41925
10	42271
11	48601



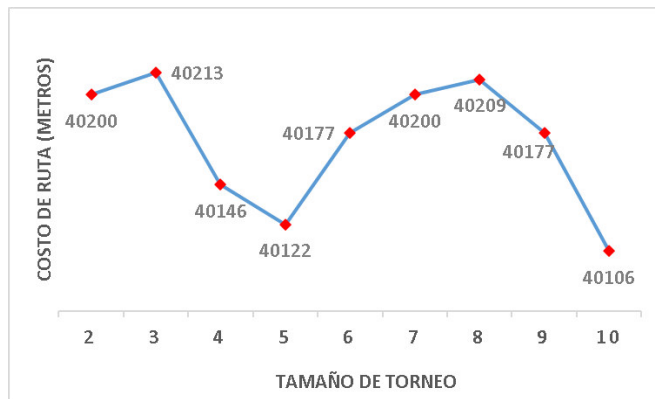
**PARA RUTA G-04**

Torneo	Mejor Solución
2	39516
3	39516
4	39516
5	39642
6	39516
7	39549
8	39717
9	39549
10	39640
11	44531



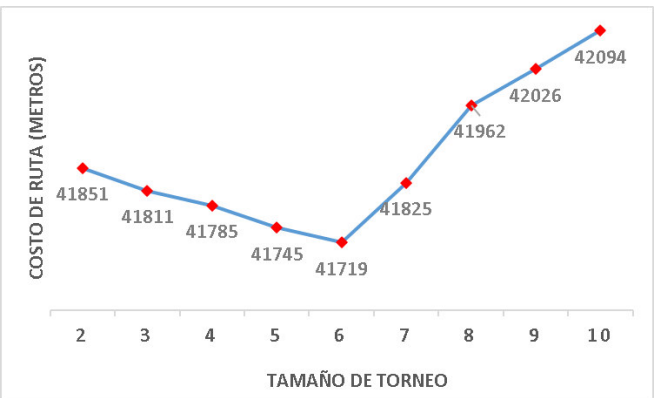
**PARA RUTA G-05**

Torneo	Mejor Solución
2	40200
3	40213
4	40146
5	40122
6	40177
7	40200
8	40209
9	40177
10	40106
11	43268



**PARA RUTA G-06**

Torneo	Mejor Solución
2	41851
3	41811
4	41785
5	41745
6	41719
7	41825
8	41962
9	42026
10	42094
11	51571



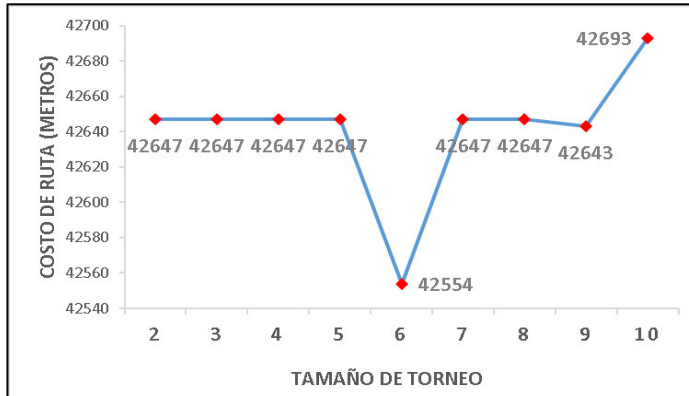
Nota. El tamaño 11, no fue graficado por alterar la escala de la gráfica y ser evidente que no es un tamaño de torneo adecuado.

**Conclusión:** Para un valor de Popsiz de 2000, se recomienda elegir un tamaño de torneo entre 6 a 10.

**Anexo 55. Graficas de Mejor Solución según Tamaño de Torneo, Popsiz 2500**

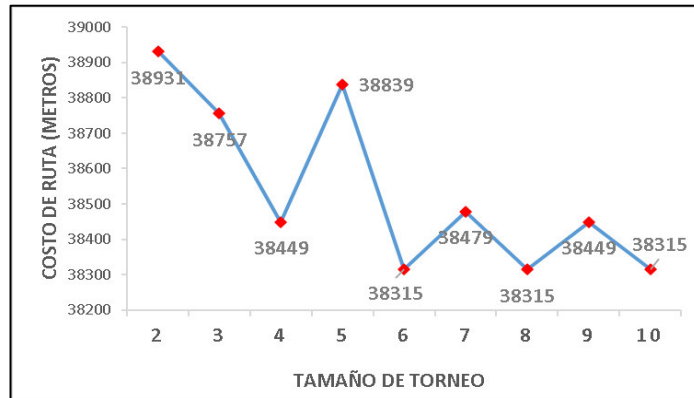
**PARA RUTA G-01**

Torneo	Mejor Solución
2	42647
3	42647
4	42647
5	42647
6	42554
7	42647
8	42647
9	42643
10	42693
11	54661



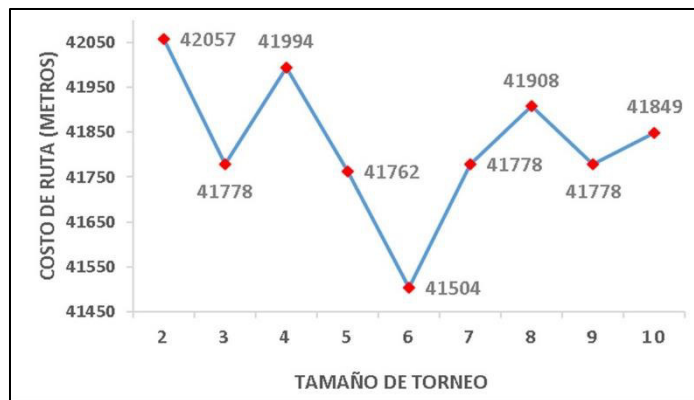
**PARA RUTA G-02**

Torneo	Mejor Solución
2	38931
3	38757
4	38449
5	38839
6	38315
7	38479
8	38315
9	38449
10	38315
11	42017



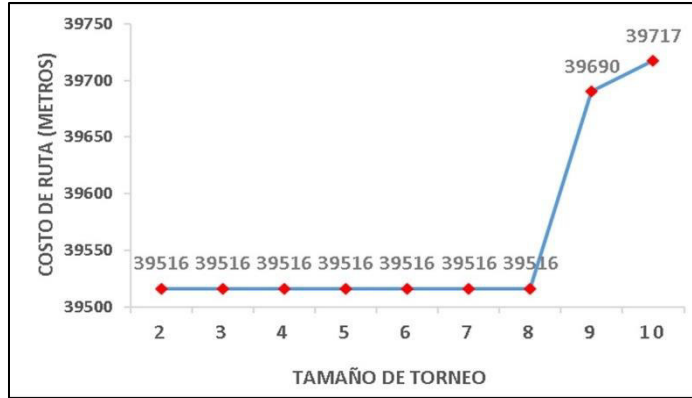
**PARA RUTA G-03**

Torneo	Mejor Solución
2	42057
3	41778
4	41994
5	41762
6	41504
7	41778
8	41908
9	41778
10	41849
11	46724



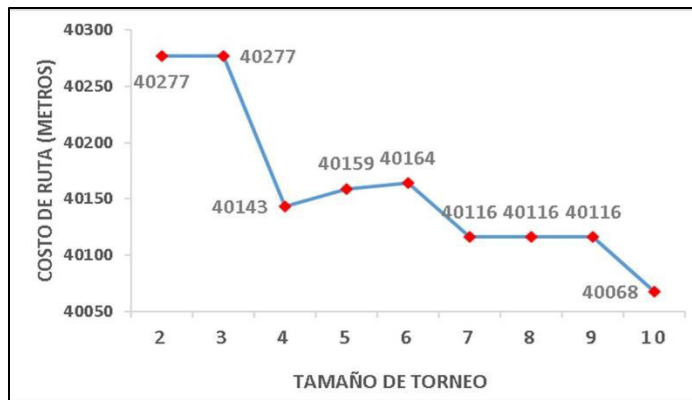
**PARA RUTA G-04**

Torneo	Mejor Solución
2	39516
3	39516
4	39516
5	39516
6	39516
7	39516
8	39516
9	39690
10	39717
11	44414



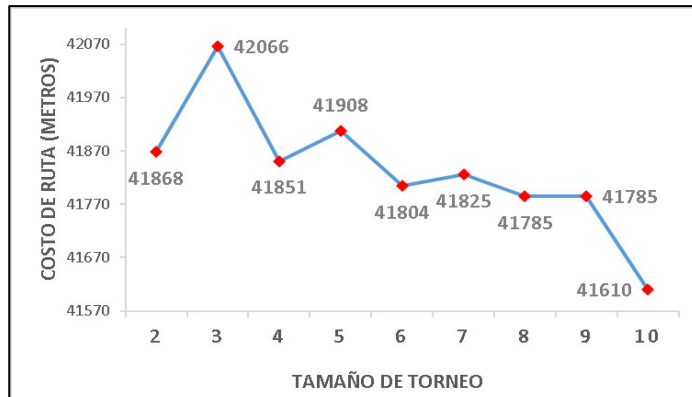
**PARA RUTA G-05**

Torneo	Mejor Solución
2	40277
3	40277
4	40143
5	40159
6	40164
7	40116
8	40116
9	40116
10	40068
11	43521



**PARA RUTA G-06**

Torneo	Mejor Solución
2	41868
3	42066
4	41851
5	41908
6	41804
7	41825
8	41785
9	41785
10	41610
11	51568



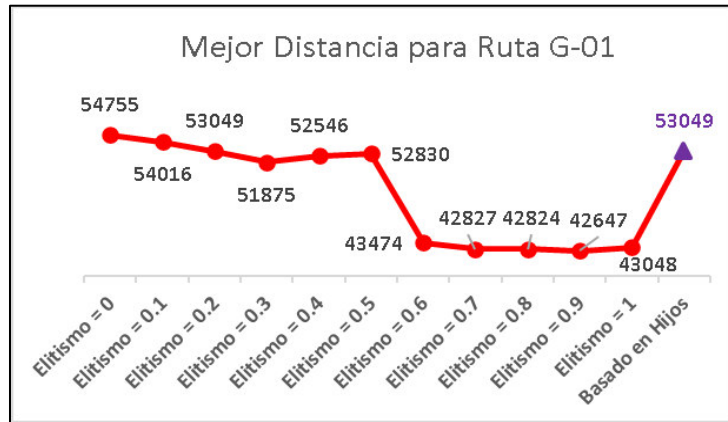
Nota. El tamaño 11, no fue graficado por alterar la escala de la gráfica y ser evidente que no es un tamaño de torneo adecuado.

**Conclusión:** Para un valor de Popsize de 2500, se recomienda elegir un tamaño de torneo entre 6 a 10.

**Anexo 56. Gráficas Elitismo vs Pasar Hijos a la Siguiete Generación por Ruta**

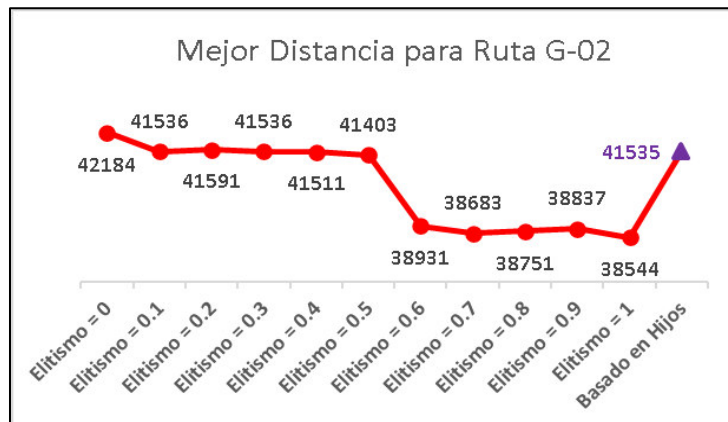
**PARA RUTA G-01**

Elitismo	Mejor Distancia
Elitismo = 0	54755
Elitismo = 0.1	54016
Elitismo = 0.2	53049
Elitismo = 0.3	51875
Elitismo = 0.4	52546
Elitismo = 0.5	52830
Elitismo = 0.6	43474
Elitismo = 0.7	42827
Elitismo = 0.8	42824
<b>Elitismo = 0.9</b>	<b>42647</b>
Elitismo = 1	43048
Basada en Hijos	53049



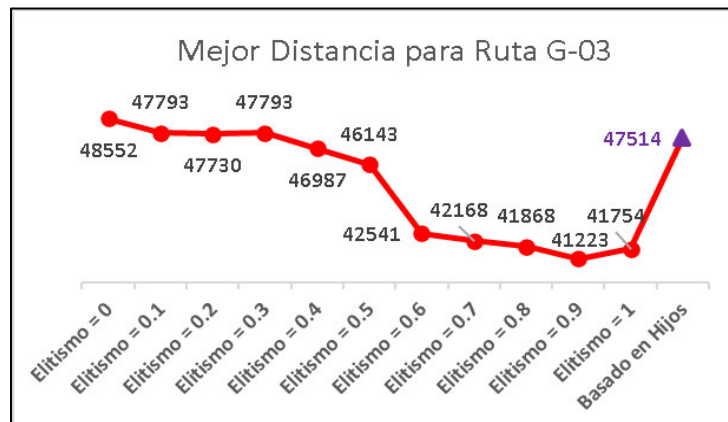
**PARA RUTA G-02**

Elitismo	Mejor Distancia
Elitismo = 0	42184
Elitismo = 0.1	41536
Elitismo = 0.2	41591
Elitismo = 0.3	41536
Elitismo = 0.4	41511
Elitismo = 0.5	41403
Elitismo = 0.6	38931
Elitismo = 0.7	38683
Elitismo = 0.8	38751
Elitismo = 0.9	38837
<b>Elitismo = 1</b>	<b>38544</b>
Basado en Hijos	41535



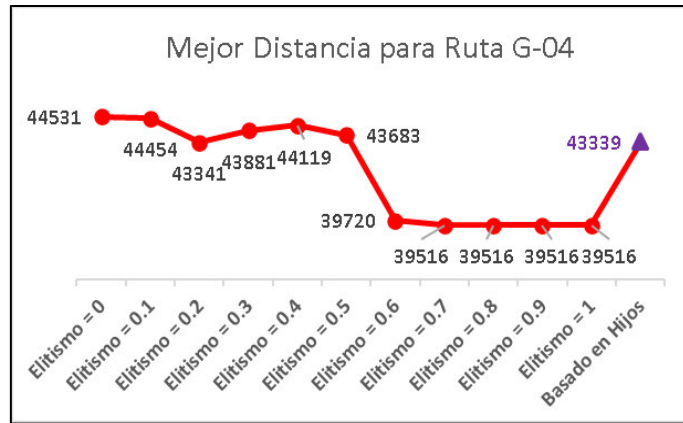
**PARA RUTA G-03**

Elitismo	Mejor Distancia
Elitismo = 0	48552
Elitismo = 0.1	47793
Elitismo = 0.2	47730
Elitismo = 0.3	47793
Elitismo = 0.4	46987
Elitismo = 0.5	46143
Elitismo = 0.6	42541
Elitismo = 0.7	42168
Elitismo = 0.8	41868
<b>Elitismo = 0.9</b>	<b>41223</b>
Elitismo = 1	41754
Basado en Hijos	47514



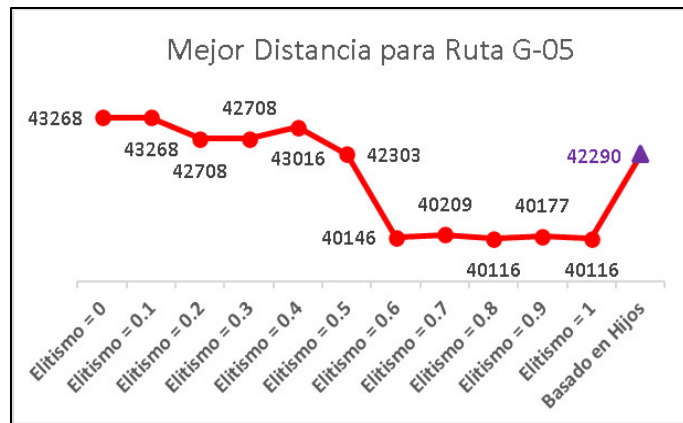
**PARA RUTA G-04**

Elitismo	Mejor Distancia
Elitismo = 0	44531
Elitismo = 0.1	44454
Elitismo = 0.2	43341
Elitismo = 0.3	43881
Elitismo = 0.4	44119
Elitismo = 0.5	43683
Elitismo = 0.6	39720
Elitismo = 0.7	39516
Elitismo = 0.8	39516
Elitismo = 0.9	39516
Elitismo = 1	39516
Basado en Hijos	43339



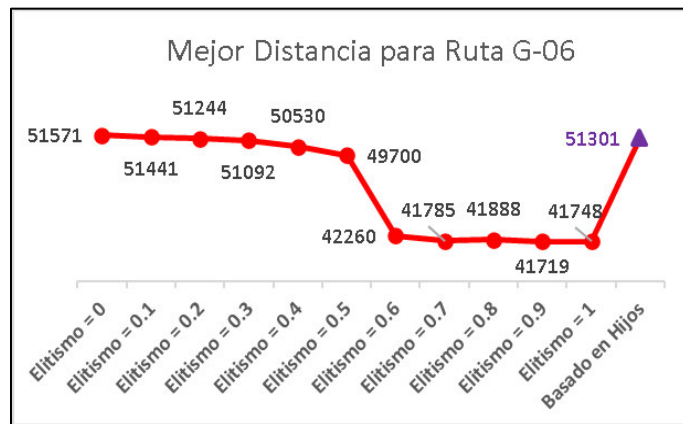
**PARA RUTA G-05**

Elitismo	Mejor Distancia
Elitismo = 0	43268
Elitismo = 0.1	43268
Elitismo = 0.2	42708
Elitismo = 0.3	42708
Elitismo = 0.4	43016
Elitismo = 0.5	42303
Elitismo = 0.6	40146
Elitismo = 0.7	40209
Elitismo = 0.8	40116
Elitismo = 0.9	40177
Elitismo = 1	40116
Basado en Hijos	42290



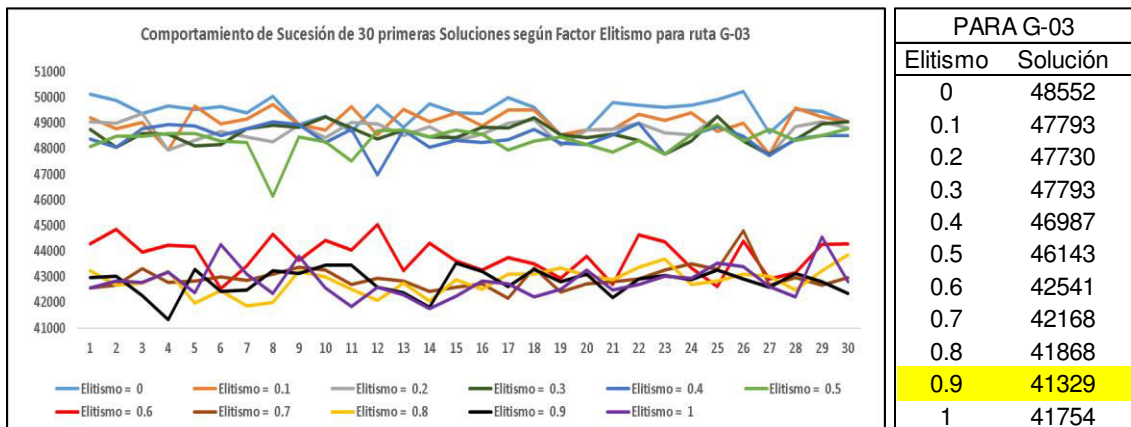
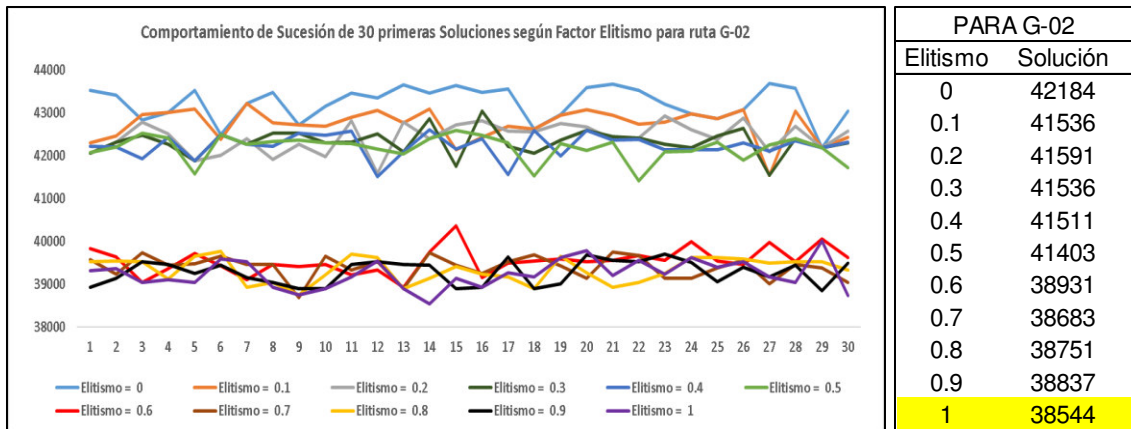
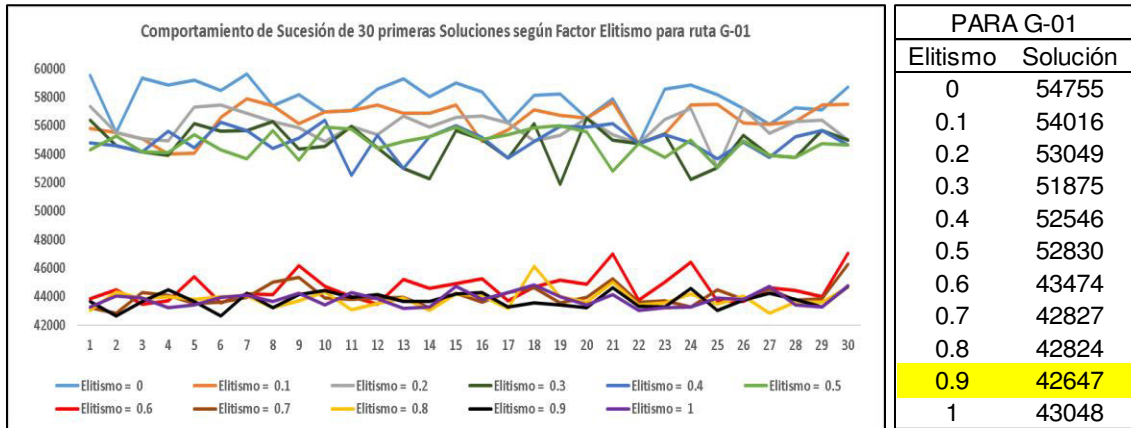
**PARA RUTA G-06**

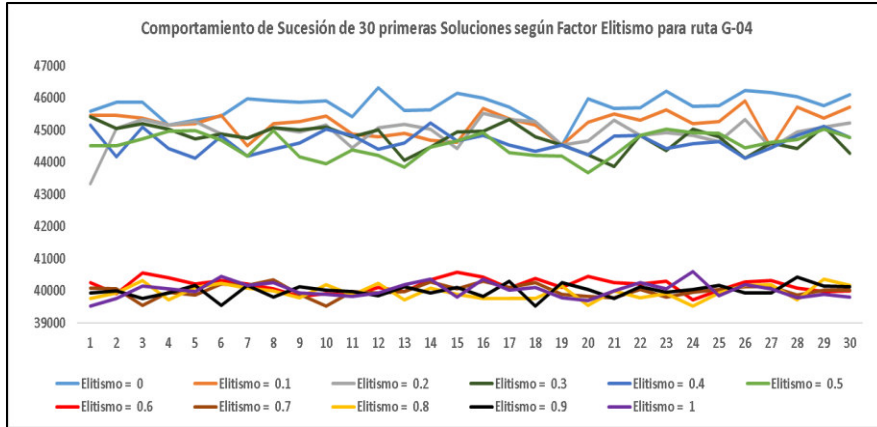
Elitismo	Mejor Distancia
Elitismo = 0	51571
Elitismo = 0.1	51441
Elitismo = 0.2	51244
Elitismo = 0.3	51092
Elitismo = 0.4	50530
Elitismo = 0.5	49700
Elitismo = 0.6	42260
Elitismo = 0.7	41785
Elitismo = 0.8	41888
Elitismo = 0.9	41719
Elitismo = 1	41748
Basado en Hijos	51301



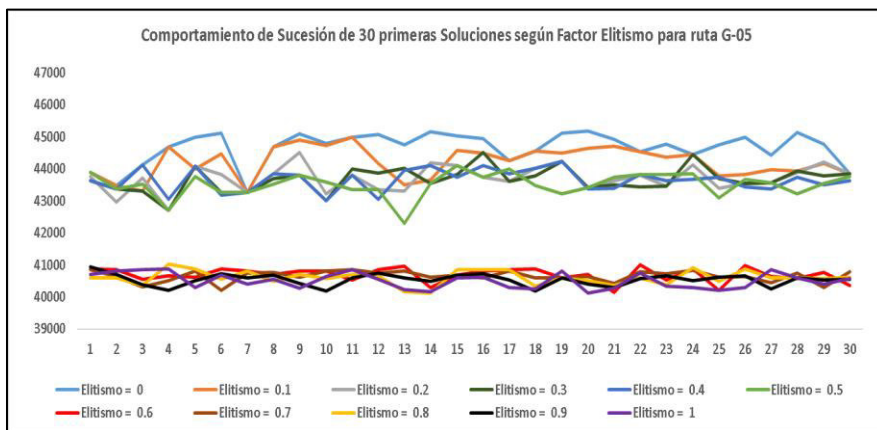
**Conclusión:** El Criterio para seleccionar a los individuos de la siguiente población a evolucionar genera mejores resultados si es un criterio elitista para valores cercanos a 1 (0.8, 0.9 y 1). El criterio basado en pasar a todos los hijos generados a la siguiente generación resultó ser deficiente para la búsqueda de buenas soluciones aplicadas en las 6 rutas.

**Anexo 57. Gráficas de 30 Ejecuciones por cada Valor Elitismo según Ruta**

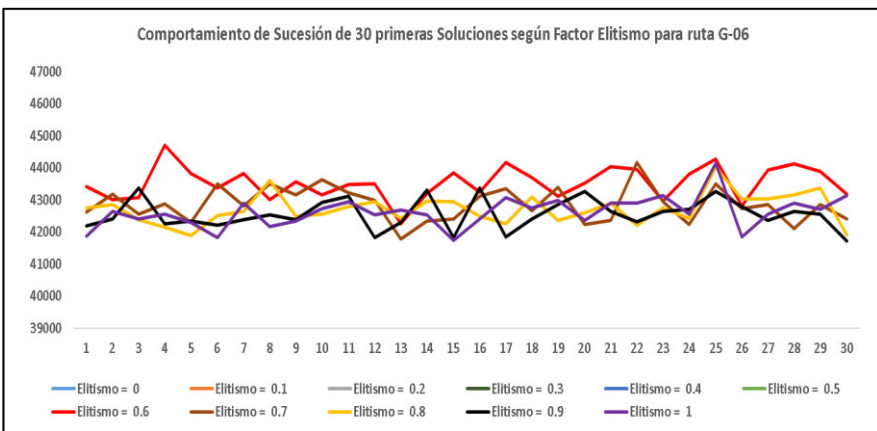




PARA G-04	
Elitismo	Solución
0	44531
0.1	44454
0.2	43341
0.3	43881
0.4	44119
0.5	43683
0.6	39720
0.7	39516
0.8	39516
0.9	39516
1	39516



PARA G-05	
Elitismo	Solución
0	43268
0.1	43268
0.2	42708
0.3	42708
0.4	43016
0.5	42303
0.6	40146
0.7	40209
0.8	40116
0.9	40177
1	40116



PARA G-06	
Elitismo	Solución
0	51571
0.1	51441
0.2	51244
0.3	51092
0.4	50530
0.5	49700
0.6	42260
0.7	41785
0.8	41888
0.9	41719
1	41748

Conclusión: Se recomienda usar un valor elitismo de 0.8, 0.9 o 1.

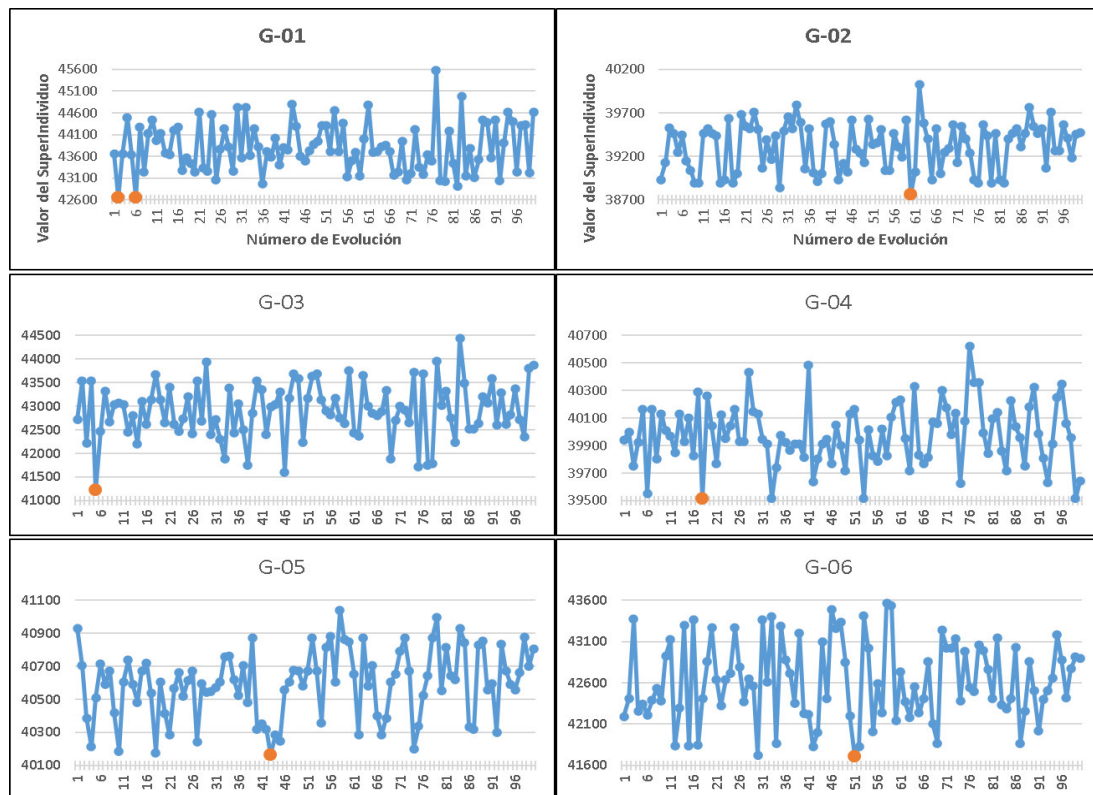


## Anexo 58. Análisis del Parámetro Número de Ejecuciones

Manteniendo el resto de los parámetros constantes (torneo=6, mutación=0.001, elitismo=0.9), se realizó la ejecución de 100 algoritmos genéticos por cada ruta (es decir, 100 ejecuciones), generando una solución (superindividuo) por cada ejecución, las cuales fueron graficadas según su ruta.

**Figura 72**

*Comportamiento de Aparición de la Mejor Solución para un Total de 100 Ejecuciones*



Se observó que para las rutas G-01, G-03 y G-04, con una cantidad de ejecuciones igual a 30 se genera al mejor de los superindividuos. Con respecto a las rutas G-02, G-05 y G-06, se requirió una cantidad de 50 ejecuciones, pero los resultados para una cantidad de ejecuciones igual a 30 son también muy buenos, por lo cual, se eligió una cantidad de ejecuciones igual a 30.

### Anexo 59. Cálculo de Consumo de Combustible para Ruta G-01

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE PARA RUTA G-01 DETERMINADA POR MAESTRANZA			
Carga de Peso entre vértices "i" y "j" (Q <sub>ij</sub> )	Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia entre vértices "i" y "j" (L/km) para una carga de peso Q <sub>ij</sub>	D(i,j)	Litros de Combustible consumido ( p <sub>ij</sub> * D(i,j) )
Q <sub>0,1</sub> = 0.000000 toneladas	ρ <sub>0,1</sub> = 0.379 l/km	65 m	0.0246 litros
Q <sub>1,2</sub> = 0.282580 toneladas	ρ <sub>1,2</sub> = 0.384 l/km	3169 m	1.2160 litros
Q <sub>2,3</sub> = 0.546925 toneladas	ρ <sub>2,3</sub> = 0.389 l/km	867 m	0.3369 litros
Q <sub>3,4</sub> = 0.806646 toneladas	ρ <sub>3,4</sub> = 0.393 l/km	1290 m	0.5075 litros
Q <sub>4,5</sub> = 1.085441 toneladas	ρ <sub>4,5</sub> = 0.399 l/km	150 m	0.0598 litros
Q <sub>5,6</sub> = 1.532058 toneladas	ρ <sub>5,6</sub> = 0.407 l/km	296 m	0.1204 litros
Q <sub>6,7</sub> = 1.881889 toneladas	ρ <sub>6,7</sub> = 0.413 l/km	125 m	0.0517 litros
Q <sub>7,8</sub> = 2.404996 toneladas	ρ <sub>7,8</sub> = 0.423 l/km	119 m	0.0503 litros
Q <sub>8,9</sub> = 2.714625 toneladas	ρ <sub>8,9</sub> = 0.429 l/km	915 m	0.3923 litros
Q <sub>9,10</sub> = 3.021117 toneladas	ρ <sub>9,10</sub> = 0.434 l/km	146 m	0.0634 litros
Q <sub>10,11</sub> = 3.328870 toneladas	ρ <sub>10,11</sub> = 0.440 l/km	326 m	0.1435 litros
Q <sub>11,12</sub> = 3.610386 toneladas	ρ <sub>11,12</sub> = 0.445 l/km	257 m	0.1144 litros
Q <sub>12,13</sub> = 3.826634 toneladas	ρ <sub>12,13</sub> = 0.449 l/km	435 m	0.1954 litros
Q <sub>13,14</sub> = 4.384484 toneladas	ρ <sub>13,14</sub> = 0.460 l/km	155 m	0.0712 litros
Q <sub>14,15</sub> = 4.794137 toneladas	ρ <sub>14,15</sub> = 0.467 l/km	210 m	0.0981 litros
Q <sub>15,16</sub> = 5.148778 toneladas	ρ <sub>15,16</sub> = 0.474 l/km	213 m	0.1009 litros
Q <sub>16,17</sub> = 5.553552 toneladas	ρ <sub>16,17</sub> = 0.481 l/km	183 m	0.0881 litros
Q <sub>17,18</sub> = 5.895121 toneladas	ρ <sub>17,18</sub> = 0.488 l/km	1210 m	0.5900 litros
Q <sub>18,19</sub> = 6.265551 toneladas	ρ <sub>18,19</sub> = 0.494 l/km	1522 m	0.7525 litros
Q <sub>19,20</sub> = 6.658879 toneladas	ρ <sub>19,20</sub> = 0.502 l/km	239 m	0.1199 litros
Q <sub>20,21</sub> = 6.978009 toneladas	ρ <sub>20,21</sub> = 0.508 l/km	157 m	0.0797 litros
Q <sub>21,22</sub> = 7.415092 toneladas	ρ <sub>21,22</sub> = 0.516 l/km	895 m	0.4616 litros
Q <sub>22,23</sub> = 7.664514 toneladas	ρ <sub>22,23</sub> = 0.520 l/km	80 m	0.0416 litros
Q <sub>23,24</sub> = 8.164940 toneladas	ρ <sub>23,24</sub> = 0.530 l/km	108 m	0.0572 litros
Q <sub>24,25</sub> = 8.453778 toneladas	ρ <sub>24,25</sub> = 0.535 l/km	170 m	0.0909 litros
Q <sub>25,26</sub> = 8.875639 toneladas	ρ <sub>25,26</sub> = 0.543 l/km	16265 m	8.8276 litros
Q <sub>26,27</sub> = 0.000000 toneladas	ρ <sub>26,27</sub> = 0.379 l/km	14777 m	5.5931 litros
<b>TOTAL</b>		<b>44344 m</b>	<b>20.249 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE PARA RUTA G-01 DETERMINADA POR EL ALGORITMO GENÉTICO			
Carga de Peso entre vértices "i" y "j" (Q <sub>ij</sub> )	Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia entre vértices "i" y "j" (L/km) para una carga de peso Q <sub>ij</sub>	D(i,j)	Litros de Combustible consumido ( p <sub>ij</sub> * D(i,j) )
Q <sub>0,1</sub> = 0.000000 toneladas	ρ <sub>0,1</sub> = 0.379 l/km	65 m	0.0246 litros
Q <sub>1,2</sub> = 0.348795 toneladas	ρ <sub>1,2</sub> = 0.385 l/km	1124 m	0.4327 litros
Q <sub>2,3</sub> = 0.806421 toneladas	ρ <sub>2,3</sub> = 0.393 l/km	746 m	0.2935 litros
Q <sub>3,4</sub> = 1.244489 toneladas	ρ <sub>3,4</sub> = 0.402 l/km	213 m	0.0855 litros
Q <sub>4,5</sub> = 1.633762 toneladas	ρ <sub>4,5</sub> = 0.409 l/km	183 m	0.0748 litros
Q <sub>5,6</sub> = 1.813742 toneladas	ρ <sub>5,6</sub> = 0.412 l/km	230 m	0.0948 litros
Q <sub>6,7</sub> = 1.940395 toneladas	ρ <sub>6,7</sub> = 0.414 l/km	146 m	0.0605 litros
Q <sub>7,8</sub> = 2.345025 toneladas	ρ <sub>7,8</sub> = 0.422 l/km	85 m	0.0359 litros
Q <sub>8,9</sub> = 2.568555 toneladas	ρ <sub>8,9</sub> = 0.426 l/km	155 m	0.0660 litros
Q <sub>9,10</sub> = 3.016101 toneladas	ρ <sub>9,10</sub> = 0.434 l/km	146 m	0.0634 litros
Q <sub>10,11</sub> = 3.432320 toneladas	ρ <sub>10,11</sub> = 0.442 l/km	257 m	0.1136 litros
Q <sub>11,12</sub> = 3.933478 toneladas	ρ <sub>11,12</sub> = 0.451 l/km	838 m	0.3782 litros
Q <sub>12,13</sub> = 4.032820 toneladas	ρ <sub>12,13</sub> = 0.453 l/km	219 m	0.0992 litros
Q <sub>13,14</sub> = 4.369406 toneladas	ρ <sub>13,14</sub> = 0.459 l/km	446 m	0.2049 litros
Q <sub>14,15</sub> = 4.615545 toneladas	ρ <sub>14,15</sub> = 0.464 l/km	125 m	0.0580 litros
Q <sub>15,16</sub> = 4.713855 toneladas	ρ <sub>15,16</sub> = 0.466 l/km	120 m	0.0559 litros
Q <sub>16,17</sub> = 5.060103 toneladas	ρ <sub>16,17</sub> = 0.472 l/km	2092 m	0.9877 litros
Q <sub>17,18</sub> = 5.522470 toneladas	ρ <sub>17,18</sub> = 0.481 l/km	868 m	0.4172 litros
Q <sub>18,19</sub> = 5.865118 toneladas	ρ <sub>18,19</sub> = 0.487 l/km	1302 m	0.6341 litros
Q <sub>19,20</sub> = 6.070027 toneladas	ρ <sub>19,20</sub> = 0.491 l/km	239 m	0.1173 litros
Q <sub>20,21</sub> = 6.581064 toneladas	ρ <sub>20,21</sub> = 0.500 l/km	157 m	0.0785 litros
Q <sub>21,22</sub> = 6.819985 toneladas	ρ <sub>21,22</sub> = 0.505 l/km	895 m	0.4517 litros
Q <sub>22,23</sub> = 7.324141 toneladas	ρ <sub>22,23</sub> = 0.514 l/km	80 m	0.0411 litros
Q <sub>23,24</sub> = 7.587488 toneladas	ρ <sub>23,24</sub> = 0.519 l/km	108 m	0.0560 litros
Q <sub>24,25</sub> = 7.948215 toneladas	ρ <sub>24,25</sub> = 0.526 l/km	170 m	0.0893 litros
Q <sub>25,26</sub> = 8.408477 toneladas	ρ <sub>25,26</sub> = 0.534 l/km	16265 m	8.6870 litros
Q <sub>26,27</sub> = 0.000000 toneladas	ρ <sub>26,27</sub> = 0.379 l/km	14777 m	5.5931 litros
<b>TOTAL</b>		<b>42051 m</b>	<b>19.295 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE EL RALENTI		
Vértice	Tiempo Promedio del "i" ésimo ralenti	Combustible consumido en el i-ésimo ralenti
0	4.28 minutos	0.0223 litros
1	2.78 minutos	0.0144 litros
2	2.39 minutos	0.0124 litros
3	4.25 minutos	0.0221 litros
4	3.84 minutos	0.0200 litros
5	3.59 minutos	0.0186 litros
6	3.28 minutos	0.0170 litros
7	3.61 minutos	0.0188 litros
8	3.88 minutos	0.0202 litros
9	3.43 minutos	0.0178 litros
10	3.62 minutos	0.0188 litros
11	3.29 minutos	0.0171 litros
12	4.08 minutos	0.0212 litros
13	3.26 minutos	0.0170 litros
14	4.38 minutos	0.0228 litros
15	3.76 minutos	0.0195 litros
16	2.43 minutos	0.0127 litros
17	3.28 minutos	0.0171 litros
18	2.54 minutos	0.0132 litros
19	4.14 minutos	0.0215 litros
20	2.06 minutos	0.0107 litros
21	4.28 minutos	0.0222 litros
22	4.04 minutos	0.0210 litros
23	2.23 minutos	0.0116 litros
24	3.98 minutos	0.0207 litros
25	3.10 minutos	0.0161 litros
26	3.55 minutos	0.0185 litros
<b>TOTAL</b>	<b>93.3 minutos</b>	<b>0.4854 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE EL RALENTI		
Vértice	Tiempo Promedio del "i" ésimo ralenti	Combustible consumido en el i-ésimo ralenti
0	3.57 minutos	0.0185 litros
1	3.37 minutos	0.0175 litros
2	3.10 minutos	0.0161 litros
3	2.73 minutos	0.0142 litros
4	3.96 minutos	0.0206 litros
5	4.12 minutos	0.0214 litros
6	3.58 minutos	0.0186 litros
7	2.94 minutos	0.0153 litros
8	3.97 minutos	0.0206 litros
9	2.59 minutos	0.0135 litros
10	4.09 minutos	0.0213 litros
11	3.88 minutos	0.0202 litros
12	2.81 minutos	0.0146 litros
13	3.76 minutos	0.0195 litros
14	4.23 minutos	0.0220 litros
15	3.55 minutos	0.0185 litros
16	4.35 minutos	0.0226 litros
17	3.64 minutos	0.0189 litros
18	3.58 minutos	0.0186 litros
19	2.84 minutos	0.0148 litros
20	3.66 minutos	0.0190 litros
21	2.17 minutos	0.0113 litros
22	3.76 minutos	0.0195 litros
23	4.02 minutos	0.0209 litros
24	3.82 minutos	0.0198 litros
25	2.57 minutos	0.0133 litros
26	4.02 minutos	0.0209 litros
<b>TOTAL</b>	<b>94.7 minutos</b>	<b>0.4923 litros</b>

Se simuló 100 ejecuciones, basándose en Wu, Tao, Qiao, y Zhang (2020) quienes en un estudio similar asumieron que cada contenedor genera una cantidad de residuos que sigue una distribución normal. Las tablas muestran solo 1 ejecución para la ruta recorrida en los escenarios determinados por Maestranza y por el Algoritmo Genético.

## Anexo 60. Cálculo de Consumo de Combustible para Ruta G-02

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE PARA RUTA G-02 DETERMINADA POR MAESTRANZA			
Carga de Peso entre vértices "i" y "j" (Q <sub>ij</sub> )	Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia entre vértices "i" y "j" (L/km) para una carga de peso Q <sub>ij</sub>	D(i,j)	Litros de Combustible consumido ( p <sub>ij</sub> * D(i,j) )
Q <sub>0,1</sub> = 0.000000 toneladas	ρ <sub>0,1</sub> = 0.379 l/km	2259 m	0.8550 litros
Q <sub>1,2</sub> = 0.390661 toneladas	ρ <sub>1,2</sub> = 0.386 l/km	345 m	0.1331 litros
Q <sub>2,3</sub> = 0.792036 toneladas	ρ <sub>2,3</sub> = 0.393 l/km	285 m	0.1120 litros
Q <sub>3,4</sub> = 1.167427 toneladas	ρ <sub>3,4</sub> = 0.400 l/km	710 m	0.2841 litros
Q <sub>4,5</sub> = 1.480545 toneladas	ρ <sub>4,5</sub> = 0.406 l/km	67 m	0.0272 litros
Q <sub>5,6</sub> = 1.866637 toneladas	ρ <sub>5,6</sub> = 0.413 l/km	281 m	0.1161 litros
Q <sub>6,7</sub> = 2.184469 toneladas	ρ <sub>6,7</sub> = 0.419 l/km	132 m	0.0553 litros
Q <sub>7,8</sub> = 2.764987 toneladas	ρ <sub>7,8</sub> = 0.430 l/km	197 m	0.0846 litros
Q <sub>8,9</sub> = 2.847131 toneladas	ρ <sub>8,9</sub> = 0.431 l/km	663 m	0.2859 litros
Q <sub>9,10</sub> = 3.293042 toneladas	ρ <sub>9,10</sub> = 0.439 l/km	175 m	0.0769 litros
Q <sub>10,11</sub> = 3.771781 toneladas	ρ <sub>10,11</sub> = 0.448 l/km	310 m	0.1390 litros
Q <sub>11,12</sub> = 4.066362 toneladas	ρ <sub>11,12</sub> = 0.454 l/km	108 m	0.0490 litros
Q <sub>12,13</sub> = 4.516804 toneladas	ρ <sub>12,13</sub> = 0.462 l/km	118 m	0.0545 litros
Q <sub>13,14</sub> = 4.830555 toneladas	ρ <sub>13,14</sub> = 0.468 l/km	258 m	0.1207 litros
Q <sub>14,15</sub> = 5.079834 toneladas	ρ <sub>14,15</sub> = 0.472 l/km	472 m	0.2230 litros
Q <sub>15,16</sub> = 5.594092 toneladas	ρ <sub>15,16</sub> = 0.482 l/km	261 m	0.1258 litros
Q <sub>16,17</sub> = 5.851862 toneladas	ρ <sub>16,17</sub> = 0.487 l/km	371 m	0.1806 litros
Q <sub>17,18</sub> = 6.299571 toneladas	ρ <sub>17,18</sub> = 0.495 l/km	150 m	0.0743 litros
Q <sub>18,19</sub> = 6.830583 toneladas	ρ <sub>18,19</sub> = 0.505 l/km	213 m	0.1075 litros
Q <sub>19,20</sub> = 7.286190 toneladas	ρ <sub>19,20</sub> = 0.513 l/km	386 m	0.1981 litros
Q <sub>20,21</sub> = 7.715358 toneladas	ρ <sub>20,21</sub> = 0.521 l/km	604 m	0.3148 litros
Q <sub>21,22</sub> = 8.229911 toneladas	ρ <sub>21,22</sub> = 0.531 l/km	16852 m	8.9449 litros
Q <sub>22,23</sub> = 0.000000 toneladas	ρ <sub>22,23</sub> = 0.379 l/km	14809 m	5.6052 litros
<b>TOTAL</b>		<b>40033.7 m</b>	<b>19.168 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE EL RALENTI		
Vértice	Tiempo Promedio del "i" ésimo ralenti	Combustible consumido en el i-ésimo ralenti
0	2.95 minutos	0.0153 litros
1	3.67 minutos	0.0191 litros
2	3.41 minutos	0.0177 litros
3	2.39 minutos	0.0124 litros
4	3.63 minutos	0.0189 litros
5	3.23 minutos	0.0168 litros
6	3.41 minutos	0.0177 litros
7	3.69 minutos	0.0192 litros
8	2.96 minutos	0.0154 litros
9	2.46 minutos	0.0128 litros
10	4.30 minutos	0.0223 litros
11	4.10 minutos	0.0213 litros
12	4.17 minutos	0.0217 litros
13	3.48 minutos	0.0181 litros
14	3.33 minutos	0.0173 litros
15	2.57 minutos	0.0133 litros
16	2.87 minutos	0.0149 litros
17	3.37 minutos	0.0175 litros
18	2.20 minutos	0.0114 litros
19	2.25 minutos	0.0117 litros
20	4.39 minutos	0.0228 litros
21	3.89 minutos	0.0202 litros
22	3.86 minutos	0.0201 litros
<b>TOTAL</b>		<b>76.6 minutos</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE PARA RUTA G-02 DETERMINADA POR EL ALGORITMO GENÉTICO			
Carga de Peso entre vértices "i" y "j" (Q <sub>ij</sub> )	Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia entre vértices "i" y "j" (L/km) para una carga de peso Q <sub>ij</sub>	D(i,j)	Litros de Combustible consumido ( p <sub>ij</sub> * D(i,j) )
Q <sub>0,1</sub> = 0.000000 toneladas	ρ <sub>0,1</sub> = 0.379 l/km	2259 m	0.8550 litros
Q <sub>1,2</sub> = 0.482400 toneladas	ρ <sub>1,2</sub> = 0.387 l/km	166 m	0.0643 litros
Q <sub>2,3</sub> = 0.941025 toneladas	ρ <sub>2,3</sub> = 0.396 l/km	175 m	0.0693 litros
Q <sub>3,4</sub> = 1.319436 toneladas	ρ <sub>3,4</sub> = 0.403 l/km	196 m	0.0790 litros
Q <sub>4,5</sub> = 1.537175 toneladas	ρ <sub>4,5</sub> = 0.407 l/km	108 m	0.0440 litros
Q <sub>5,6</sub> = 1.885500 toneladas	ρ <sub>5,6</sub> = 0.413 l/km	118 m	0.0488 litros
Q <sub>6,7</sub> = 2.258469 toneladas	ρ <sub>6,7</sub> = 0.420 l/km	214 m	0.0899 litros
Q <sub>7,8</sub> = 2.397428 toneladas	ρ <sub>7,8</sub> = 0.423 l/km	445 m	0.1882 litros
Q <sub>8,9</sub> = 2.705933 toneladas	ρ <sub>8,9</sub> = 0.429 l/km	350 m	0.1500 litros
Q <sub>9,10</sub> = 2.781717 toneladas	ρ <sub>9,10</sub> = 0.430 l/km	253 m	0.1088 litros
Q <sub>10,11</sub> = 3.222225 toneladas	ρ <sub>10,11</sub> = 0.438 l/km	386 m	0.1691 litros
Q <sub>11,12</sub> = 3.627835 toneladas	ρ <sub>11,12</sub> = 0.446 l/km	213 m	0.0949 litros
Q <sub>12,13</sub> = 3.911584 toneladas	ρ <sub>12,13</sub> = 0.451 l/km	293 m	0.1321 litros
Q <sub>13,14</sub> = 4.175425 toneladas	ρ <sub>13,14</sub> = 0.456 l/km	209 m	0.0953 litros
Q <sub>14,15</sub> = 4.682277 toneladas	ρ <sub>14,15</sub> = 0.465 l/km	216 m	0.1005 litros
Q <sub>15,16</sub> = 5.210669 toneladas	ρ <sub>15,16</sub> = 0.475 l/km	214 m	0.1016 litros
Q <sub>16,17</sub> = 5.667703 toneladas	ρ <sub>16,17</sub> = 0.483 l/km	67 m	0.0324 litros
Q <sub>17,18</sub> = 5.971035 toneladas	ρ <sub>17,18</sub> = 0.489 l/km	413 m	0.2020 litros
Q <sub>18,19</sub> = 6.365198 toneladas	ρ <sub>18,19</sub> = 0.496 l/km	197 m	0.0978 litros
Q <sub>19,20</sub> = 6.719269 toneladas	ρ <sub>19,20</sub> = 0.503 l/km	165 m	0.0830 litros
Q <sub>20,21</sub> = 7.215229 toneladas	ρ <sub>20,21</sub> = 0.512 l/km	285 m	0.1459 litros
Q <sub>21,22</sub> = 7.429815 toneladas	ρ <sub>21,22</sub> = 0.516 l/km	16564 m	8.5468 litros
Q <sub>22,23</sub> = 0.000000 toneladas	ρ <sub>22,23</sub> = 0.379 l/km	14809 m	5.6052 litros
<b>TOTAL</b>		<b>38322.2 m</b>	<b>17.104 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE EL RALENTI		
Vértice	Tiempo Promedio del "i" ésimo ralenti	Combustible consumido en el i-ésimo ralenti
0	2.56 minutos	0.0133 litros
1	3.65 minutos	0.0190 litros
2	3.36 minutos	0.0175 litros
3	4.35 minutos	0.0226 litros
4	3.17 minutos	0.0165 litros
5	4.14 minutos	0.0216 litros
6	4.02 minutos	0.0209 litros
7	4.13 minutos	0.0215 litros
8	3.98 minutos	0.0207 litros
9	4.31 minutos	0.0224 litros
10	3.72 minutos	0.0194 litros
11	4.19 minutos	0.0218 litros
12	3.32 minutos	0.0173 litros
13	2.65 minutos	0.0138 litros
14	3.88 minutos	0.0202 litros
15	3.49 minutos	0.0182 litros
16	3.59 minutos	0.0187 litros
17	2.34 minutos	0.0122 litros
18	2.83 minutos	0.0147 litros
19	4.38 minutos	0.0228 litros
20	2.35 minutos	0.0122 litros
21	4.13 minutos	0.0215 litros
22	3.70 minutos	0.0193 litros
<b>TOTAL</b>		<b>82.3 minutos</b>

Se simuló 100 ejecuciones, basándose en Wu, Tao, Qiao, y Zhang (2020) quienes en un estudio similar asumieron que cada contenedor genera una cantidad de residuos que sigue una distribución normal. Las tablas muestran solo 1 ejecución para la ruta recorrida en los escenarios determinados por Maestranza y por el Algoritmo Genético.

### Anexo 61. Cálculo de Consumo de Combustible para Ruta G-03

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE PARA RUTA G-03 DETERMINADA POR MAESTRANZA			
Carga de Peso entre vértices "i" y "j" (Q <sub>i,j</sub> )	Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia entre vértices "i" y "j" (L/km) para una carga de peso Q <sub>i,j</sub>	D(i,j)	Litros de Combustible consumido ( p <sub>ij</sub> * D(i,j) )
Q <sub>0,1</sub> = 0.000000 toneladas	ρ <sub>0,1</sub> = 0.379 l/km	4914 m	1.8599 litros
Q <sub>1,2</sub> = 0.271640 toneladas	ρ <sub>1,2</sub> = 0.384 l/km	361 m	0.1385 litros
Q <sub>2,3</sub> = 0.591808 toneladas	ρ <sub>2,3</sub> = 0.389 l/km	226 m	0.0880 litros
Q <sub>3,4</sub> = 0.743103 toneladas	ρ <sub>3,4</sub> = 0.392 l/km	161 m	0.0632 litros
Q <sub>4,5</sub> = 1.092349 toneladas	ρ <sub>4,5</sub> = 0.399 l/km	218 m	0.0869 litros
Q <sub>5,6</sub> = 1.437730 toneladas	ρ <sub>5,6</sub> = 0.405 l/km	510 m	0.2066 litros
Q <sub>6,7</sub> = 1.996901 toneladas	ρ <sub>6,7</sub> = 0.415 l/km	89 m	0.0370 litros
Q <sub>7,8</sub> = 2.458128 toneladas	ρ <sub>7,8</sub> = 0.424 l/km	393 m	0.1666 litros
Q <sub>8,9</sub> = 2.554628 toneladas	ρ <sub>8,9</sub> = 0.426 l/km	349 m	0.1486 litros
Q <sub>9,10</sub> = 2.835910 toneladas	ρ <sub>9,10</sub> = 0.431 l/km	125 m	0.0539 litros
Q <sub>10,11</sub> = 3.128601 toneladas	ρ <sub>10,11</sub> = 0.436 l/km	226 m	0.0986 litros
Q <sub>11,12</sub> = 3.479245 toneladas	ρ <sub>11,12</sub> = 0.443 l/km	184 m	0.0815 litros
Q <sub>12,13</sub> = 3.827774 toneladas	ρ <sub>12,13</sub> = 0.449 l/km	121 m	0.0544 litros
Q <sub>13,14</sub> = 4.215489 toneladas	ρ <sub>13,14</sub> = 0.457 l/km	318 m	0.1452 litros
Q <sub>14,15</sub> = 4.310425 toneladas	ρ <sub>14,15</sub> = 0.458 l/km	168 m	0.0770 litros
Q <sub>15,16</sub> = 4.561376 toneladas	ρ <sub>15,16</sub> = 0.463 l/km	194 m	0.0898 litros
Q <sub>16,17</sub> = 4.857757 toneladas	ρ <sub>16,17</sub> = 0.468 l/km	110 m	0.0515 litros
Q <sub>17,18</sub> = 5.071449 toneladas	ρ <sub>17,18</sub> = 0.472 l/km	137 m	0.0647 litros
Q <sub>18,19</sub> = 5.384612 toneladas	ρ <sub>18,19</sub> = 0.478 l/km	416 m	0.1989 litros
Q <sub>19,20</sub> = 5.631344 toneladas	ρ <sub>19,20</sub> = 0.483 l/km	410 m	0.1979 litros
Q <sub>20,21</sub> = 6.166553 toneladas	ρ <sub>20,21</sub> = 0.493 l/km	155 m	0.0764 litros
Q <sub>21,22</sub> = 6.687915 toneladas	ρ <sub>21,22</sub> = 0.502 l/km	444 m	0.2230 litros
Q <sub>22,23</sub> = 7.150303 toneladas	ρ <sub>22,23</sub> = 0.511 l/km	208 m	0.1062 litros
Q <sub>23,24</sub> = 7.154852 toneladas	ρ <sub>23,24</sub> = 0.511 l/km	175 m	0.0894 litros
Q <sub>24,25</sub> = 7.509279 toneladas	ρ <sub>24,25</sub> = 0.517 l/km	435 m	0.2251 litros
Q <sub>25,26</sub> = 7.902945 toneladas	ρ <sub>25,26</sub> = 0.525 l/km	189 m	0.0992 litros
Q <sub>26,27</sub> = 8.512306 toneladas	ρ <sub>26,27</sub> = 0.536 l/km	16977 m	9.0999 litros
Q <sub>27,28</sub> = 0.000000 toneladas	ρ <sub>27,28</sub> = 0.379 l/km	14812 m	5.6063 litros
<b>TOTAL</b>		<b>43025 m</b>	<b>19.434 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE EL RALENTI		
Vértice	Tiempo Promedio del "i" ésimo ralenti	Combustible consumido en el i-ésimo ralenti
0	2.15 minutos	0.0112 litros
1	3.92 minutos	0.0204 litros
2	4.00 minutos	0.0208 litros
3	2.65 minutos	0.0138 litros
4	2.80 minutos	0.0145 litros
5	4.07 minutos	0.0212 litros
6	2.34 minutos	0.0122 litros
7	4.09 minutos	0.0213 litros
8	3.46 minutos	0.0180 litros
9	4.24 minutos	0.0221 litros
10	2.46 minutos	0.0128 litros
11	4.16 minutos	0.0216 litros
12	2.43 minutos	0.0126 litros
13	3.18 minutos	0.0166 litros
14	2.81 minutos	0.0146 litros
15	3.85 minutos	0.0200 litros
16	3.86 minutos	0.0201 litros
17	3.58 minutos	0.0186 litros
18	4.18 minutos	0.0217 litros
19	2.35 minutos	0.0122 litros
20	3.11 minutos	0.0161 litros
21	3.72 minutos	0.0193 litros
22	4.21 minutos	0.0219 litros
23	2.50 minutos	0.0130 litros
24	4.31 minutos	0.0224 litros
25	2.96 minutos	0.0154 litros
26	4.40 minutos	0.0229 litros
27	3.34 minutos	0.0174 litros
<b>TOTAL</b>	<b>95.1 minutos</b>	<b>0.4946 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE PARA RUTA G-03 DETERMINADA POR EL ALGORITMO GENÉTICO			
Carga de Peso entre vértices "i" y "j" (Q <sub>i,j</sub> )	Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia entre vértices "i" y "j" (L/km) para una carga de peso Q <sub>i,j</sub>	D(i,j)	Litros de Combustible consumido ( p <sub>ij</sub> * D(i,j) )
Q <sub>0,1</sub> = 0.000000 toneladas	ρ <sub>0,1</sub> = 0.379 l/km	3363 m	1.2729 litros
Q <sub>1,2</sub> = 0.387096 toneladas	ρ <sub>1,2</sub> = 0.386 l/km	175 m	0.0675 litros
Q <sub>2,3</sub> = 0.881475 toneladas	ρ <sub>2,3</sub> = 0.395 l/km	208 m	0.0821 litros
Q <sub>3,4</sub> = 1.221748 toneladas	ρ <sub>3,4</sub> = 0.401 l/km	484 m	0.1941 litros
Q <sub>4,5</sub> = 1.392037 toneladas	ρ <sub>4,5</sub> = 0.404 l/km	54 m	0.0218 litros
Q <sub>5,6</sub> = 1.998005 toneladas	ρ <sub>5,6</sub> = 0.415 l/km	137 m	0.0569 litros
Q <sub>6,7</sub> = 2.195214 toneladas	ρ <sub>6,7</sub> = 0.419 l/km	207 m	0.0868 litros
Q <sub>7,8</sub> = 2.689127 toneladas	ρ <sub>7,8</sub> = 0.428 l/km	362 m	0.1550 litros
Q <sub>8,9</sub> = 3.268201 toneladas	ρ <sub>8,9</sub> = 0.439 l/km	101 m	0.0443 litros
Q <sub>9,10</sub> = 3.649713 toneladas	ρ <sub>9,10</sub> = 0.446 l/km	295 m	0.1316 litros
Q <sub>10,11</sub> = 3.859266 toneladas	ρ <sub>10,11</sub> = 0.450 l/km	125 m	0.0562 litros
Q <sub>11,12</sub> = 4.222193 toneladas	ρ <sub>11,12</sub> = 0.457 l/km	146 m	0.0667 litros
Q <sub>12,13</sub> = 4.552342 toneladas	ρ <sub>12,13</sub> = 0.463 l/km	273 m	0.1263 litros
Q <sub>13,14</sub> = 4.755852 toneladas	ρ <sub>13,14</sub> = 0.467 l/km	371 m	0.1731 litros
Q <sub>14,15</sub> = 5.305717 toneladas	ρ <sub>14,15</sub> = 0.477 l/km	196 m	0.0934 litros
Q <sub>15,16</sub> = 5.631729 toneladas	ρ <sub>15,16</sub> = 0.483 l/km	183 m	0.0883 litros
Q <sub>16,17</sub> = 6.016475 toneladas	ρ <sub>16,17</sub> = 0.490 l/km	312 m	0.1528 litros
Q <sub>17,18</sub> = 6.434429 toneladas	ρ <sub>17,18</sub> = 0.498 l/km	119 m	0.0592 litros
Q <sub>18,19</sub> = 6.744851 toneladas	ρ <sub>18,19</sub> = 0.503 l/km	587 m	0.2954 litros
Q <sub>19,20</sub> = 6.860146 toneladas	ρ <sub>19,20</sub> = 0.505 l/km	527 m	0.2664 litros
Q <sub>20,21</sub> = 7.062401 toneladas	ρ <sub>20,21</sub> = 0.509 l/km	292 m	0.1487 litros
Q <sub>21,22</sub> = 7.459856 toneladas	ρ <sub>21,22</sub> = 0.517 l/km	292 m	0.1508 litros
Q <sub>22,23</sub> = 7.713008 toneladas	ρ <sub>22,23</sub> = 0.521 l/km	125 m	0.0652 litros
Q <sub>23,24</sub> = 8.106042 toneladas	ρ <sub>23,24</sub> = 0.528 l/km	226 m	0.1194 litros
Q <sub>24,25</sub> = 8.402048 toneladas	ρ <sub>24,25</sub> = 0.534 l/km	184 m	0.0983 litros
Q <sub>25,26</sub> = 8.787013 toneladas	ρ <sub>25,26</sub> = 0.541 l/km	121 m	0.0655 litros
Q <sub>26,27</sub> = 9.085879 toneladas	ρ <sub>26,27</sub> = 0.547 l/km	16946 m	9.2632 litros
Q <sub>27,28</sub> = 0.000000 toneladas	ρ <sub>27,28</sub> = 0.379 l/km	14812 m	5.6063 litros
<b>TOTAL</b>		<b>41223 m</b>	<b>19.008 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE EL RALENTI		
Vértice	Tiempo Promedio del "i" ésimo ralenti	Combustible consumido en el i-ésimo ralenti
0	3.09 minutos	0.0161 litros
1	3.31 minutos	0.0172 litros
2	3.23 minutos	0.0168 litros
3	2.56 minutos	0.0133 litros
4	4.12 minutos	0.0214 litros
5	3.23 minutos	0.0168 litros
6	3.32 minutos	0.0173 litros
7	3.88 minutos	0.0202 litros
8	4.16 minutos	0.0216 litros
9	4.18 minutos	0.0218 litros
10	4.24 minutos	0.0221 litros
11	3.94 minutos	0.0205 litros
12	2.51 minutos	0.0131 litros
13	2.56 minutos	0.0133 litros
14	3.73 minutos	0.0194 litros
15	4.20 minutos	0.0219 litros
16	4.30 minutos	0.0223 litros
17	3.33 minutos	0.0173 litros
18	3.97 minutos	0.0207 litros
19	2.41 minutos	0.0126 litros
20	3.96 minutos	0.0206 litros
21	3.45 minutos	0.0179 litros
22	2.56 minutos	0.0133 litros
23	2.65 minutos	0.0138 litros
24	3.68 minutos	0.0191 litros
25	4.15 minutos	0.0216 litros
26	3.46 minutos	0.0180 litros
27	4.16 minutos	0.0216 litros
<b>TOTAL</b>	<b>98.4 minutos</b>	<b>0.5115 litros</b>

Se simuló 100 ejecuciones, basándose en Wu, Tao, Qiao, y Zhang (2020) quienes en un estudio similar asumieron que cada contenedor genera una cantidad de residuos que sigue una distribución normal. Las tablas muestran solo 1 ejecución para la ruta recorrida en los escenarios determinados por Maestranza y por el Algoritmo Genético.

## Anexo 62. Cálculo de Consumo de Combustible para Ruta G-04

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE PARA RUTA G-04 DETERMINADA POR MAESTRANZA			
Carga de Peso entre vértices "i" y "j" (Q <sub>ij</sub> )	Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia entre vértices "i" y "j" (L/km) para una carga de peso Q <sub>ij</sub>	D(i,j)	Litros de Combustible consumido ( $\rho_{ij} * D(i,j)$ )
Q <sub>0,1</sub> = 0.000000 toneladas	$\rho_{0,1} = 0.379$ l/km	3992 m	1.5110 litros
Q <sub>1,2</sub> = 0.249584 toneladas	$\rho_{1,2} = 0.383$ l/km	154 m	0.0590 litros
Q <sub>2,3</sub> = 0.474162 toneladas	$\rho_{2,3} = 0.387$ l/km	373 m	0.1445 litros
Q <sub>3,4</sub> = 0.716464 toneladas	$\rho_{3,4} = 0.392$ l/km	146 m	0.0572 litros
Q <sub>4,5</sub> = 1.047989 toneladas	$\rho_{4,5} = 0.398$ l/km	242 m	0.0963 litros
Q <sub>5,6</sub> = 1.192930 toneladas	$\rho_{5,6} = 0.401$ l/km	235 m	0.0941 litros
Q <sub>6,7</sub> = 1.424559 toneladas	$\rho_{6,7} = 0.405$ l/km	271 m	0.1097 litros
Q <sub>7,8</sub> = 1.713414 toneladas	$\rho_{7,8} = 0.410$ l/km	557 m	0.2285 litros
Q <sub>8,9</sub> = 1.928354 toneladas	$\rho_{8,9} = 0.414$ l/km	458 m	0.1897 litros
Q <sub>9,10</sub> = 2.123835 toneladas	$\rho_{9,10} = 0.418$ l/km	241 m	0.1007 litros
Q <sub>10,11</sub> = 2.314638 toneladas	$\rho_{10,11} = 0.421$ l/km	321 m	0.1352 litros
Q <sub>11,12</sub> = 2.449317 toneladas	$\rho_{11,12} = 0.424$ l/km	445 m	0.1886 litros
Q <sub>12,13</sub> = 2.659248 toneladas	$\rho_{12,13} = 0.428$ l/km	407 m	0.1741 litros
Q <sub>13,14</sub> = 2.960578 toneladas	$\rho_{13,14} = 0.433$ l/km	160 m	0.0693 litros
Q <sub>14,15</sub> = 3.324001 toneladas	$\rho_{14,15} = 0.440$ l/km	319 m	0.1404 litros
Q <sub>15,16</sub> = 3.553897 toneladas	$\rho_{15,16} = 0.444$ l/km	458 m	0.2035 litros
Q <sub>16,17</sub> = 3.761312 toneladas	$\rho_{16,17} = 0.448$ l/km	329 m	0.1474 litros
Q <sub>17,18</sub> = 4.069130 toneladas	$\rho_{17,18} = 0.454$ l/km	121 m	0.0549 litros
Q <sub>18,19</sub> = 4.427777 toneladas	$\rho_{18,19} = 0.460$ l/km	118 m	0.0543 litros
Q <sub>19,20</sub> = 4.707912 toneladas	$\rho_{19,20} = 0.466$ l/km	920 m	0.4284 litros
Q <sub>20,21</sub> = 4.938632 toneladas	$\rho_{20,21} = 0.470$ l/km	107 m	0.0503 litros
Q <sub>21,22</sub> = 5.124380 toneladas	$\rho_{21,22} = 0.473$ l/km	131 m	0.0620 litros
Q <sub>22,23</sub> = 5.368505 toneladas	$\rho_{22,23} = 0.478$ l/km	161 m	0.0769 litros
Q <sub>23,24</sub> = 5.592740 toneladas	$\rho_{23,24} = 0.482$ l/km	17209 m	8.2946 litros
Q <sub>24,25</sub> = 0.000000 toneladas	$\rho_{24,25} = 0.379$ l/km	14789 m	5.5976 litros
<b>TOTAL</b>		<b>42664 m</b>	<b>18.268 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE PARA RUTA G-04 DETERMINADA POR EL ALGORITMO GENÉTICO			
Carga de Peso entre vértices "i" y "j" (Q <sub>ij</sub> )	Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia entre vértices "i" y "j" (L/km) para una carga de peso Q <sub>ij</sub>	D(i,j)	Litros de Combustible consumido ( $\rho_{ij} * D(i,j)$ )
Q <sub>0,1</sub> = 0.000000 toneladas	$\rho_{0,1} = 0.379$ l/km	3128 m	1.1839 litros
Q <sub>1,2</sub> = 0.154424 toneladas	$\rho_{1,2} = 0.381$ l/km	107 m	0.0408 litros
Q <sub>2,3</sub> = 0.419716 toneladas	$\rho_{2,3} = 0.386$ l/km	131 m	0.0506 litros
Q <sub>3,4</sub> = 0.698122 toneladas	$\rho_{3,4} = 0.391$ l/km	161 m	0.0630 litros
Q <sub>4,5</sub> = 0.959150 toneladas	$\rho_{4,5} = 0.396$ l/km	570 m	0.2259 litros
Q <sub>5,6</sub> = 1.280181 toneladas	$\rho_{5,6} = 0.402$ l/km	118 m	0.0475 litros
Q <sub>6,7</sub> = 1.540822 toneladas	$\rho_{6,7} = 0.407$ l/km	121 m	0.0492 litros
Q <sub>7,8</sub> = 1.871925 toneladas	$\rho_{7,8} = 0.413$ l/km	329 m	0.1359 litros
Q <sub>8,9</sub> = 2.196179 toneladas	$\rho_{8,9} = 0.419$ l/km	334 m	0.1400 litros
Q <sub>9,10</sub> = 2.469207 toneladas	$\rho_{9,10} = 0.424$ l/km	319 m	0.1353 litros
Q <sub>10,11</sub> = 2.748307 toneladas	$\rho_{10,11} = 0.429$ l/km	479 m	0.2057 litros
Q <sub>11,12</sub> = 2.965228 toneladas	$\rho_{11,12} = 0.433$ l/km	154 m	0.0667 litros
Q <sub>12,13</sub> = 3.180641 toneladas	$\rho_{12,13} = 0.437$ l/km	370 m	0.1618 litros
Q <sub>13,14</sub> = 3.503317 toneladas	$\rho_{13,14} = 0.443$ l/km	146 m	0.0647 litros
Q <sub>14,15</sub> = 3.705538 toneladas	$\rho_{14,15} = 0.447$ l/km	118 m	0.0528 litros
Q <sub>15,16</sub> = 3.796318 toneladas	$\rho_{15,16} = 0.449$ l/km	235 m	0.1055 litros
Q <sub>16,17</sub> = 3.996529 toneladas	$\rho_{16,17} = 0.452$ l/km	271 m	0.1226 litros
Q <sub>17,18</sub> = 4.205716 toneladas	$\rho_{17,18} = 0.456$ l/km	380 m	0.1734 litros
Q <sub>18,19</sub> = 4.372632 toneladas	$\rho_{18,19} = 0.459$ l/km	386 m	0.1773 litros
Q <sub>19,20</sub> = 4.456110 toneladas	$\rho_{19,20} = 0.461$ l/km	295 m	0.1360 litros
Q <sub>20,21</sub> = 4.728541 toneladas	$\rho_{20,21} = 0.466$ l/km	306 m	0.1426 litros
Q <sub>21,22</sub> = 4.959119 toneladas	$\rho_{21,22} = 0.470$ l/km	241 m	0.1133 litros
Q <sub>22,23</sub> = 5.185148 toneladas	$\rho_{22,23} = 0.474$ l/km	321 m	0.1523 litros
Q <sub>23,24</sub> = 5.380579 toneladas	$\rho_{23,24} = 0.478$ l/km	15707 m	7.5090 litros
Q <sub>24,25</sub> = 0.000000 toneladas	$\rho_{24,25} = 0.379$ l/km	14789 m	5.5976 litros
<b>TOTAL</b>		<b>39516 m</b>	<b>16.853 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE EL RALENTI		
Vértice	Tiempo Promedio del "i" ésimο ralentι	Combustible consumido en el i-ésimo ralentι
0	3.17 minutos	0.0165 litros
1	3.11 minutos	0.0162 litros
2	2.73 minutos	0.0142 litros
3	2.81 minutos	0.0146 litros
4	1.99 minutos	0.0103 litros
5	2.69 minutos	0.0140 litros
6	3.60 minutos	0.0187 litros
7	2.87 minutos	0.0149 litros
8	3.09 minutos	0.0160 litros
9	2.95 minutos	0.0154 litros
10	3.34 minutos	0.0174 litros
11	3.34 minutos	0.0174 litros
12	3.49 minutos	0.0182 litros
13	3.25 minutos	0.0169 litros
14	2.58 minutos	0.0134 litros
15	3.37 minutos	0.0175 litros
16	2.56 minutos	0.0133 litros
17	2.77 minutos	0.0144 litros
18	2.29 minutos	0.0119 litros
19	2.55 minutos	0.0133 litros
20	3.25 minutos	0.0169 litros
21	2.41 minutos	0.0125 litros
22	3.02 minutos	0.0157 litros
23	1.94 minutos	0.0101 litros
24	2.03 minutos	0.0106 litros
<b>TOTAL</b>	<b>71.2 minutos</b>	<b>0.3703 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE EL RALENTI		
Vértice	Tiempo Promedio del "i" ésimο ralentι	Combustible consumido en el i-ésimo ralentι
0	2.48 minutos	0.0129 litros
1	2.62 minutos	0.0136 litros
2	2.42 minutos	0.0126 litros
3	3.19 minutos	0.0166 litros
4	2.58 minutos	0.0134 litros
5	2.53 minutos	0.0132 litros
6	3.55 minutos	0.0185 litros
7	2.05 minutos	0.0107 litros
8	2.36 minutos	0.0123 litros
9	3.17 minutos	0.0165 litros
10	2.98 minutos	0.0155 litros
11	3.46 minutos	0.0180 litros
12	3.62 minutos	0.0188 litros
13	3.06 minutos	0.0159 litros
14	3.25 minutos	0.0169 litros
15	2.89 minutos	0.0150 litros
16	3.05 minutos	0.0159 litros
17	3.67 minutos	0.0191 litros
18	3.41 minutos	0.0177 litros
19	3.50 minutos	0.0182 litros
20	3.36 minutos	0.0175 litros
21	2.93 minutos	0.0152 litros
22	2.62 minutos	0.0136 litros
23	3.00 minutos	0.0156 litros
24	3.74 minutos	0.0195 litros
<b>TOTAL</b>	<b>75.5 minutos</b>	<b>0.3926 litros</b>

Se simuló 100 ejecuciones, basándose en Wu, Tao, Qiao, y Zhang (2020) quienes en un estudio similar asumieron que cada contenedor genera una cantidad de residuos que sigue una distribución normal. Las tablas muestran solo 1 ejecución para la ruta recorrida en los escenarios determinados por Maestranza y por el Algoritmo Genético.

### Anexo 63. Cálculo de Consumo de Combustible para Ruta G-05

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE PARA RUTA G-05 DETERMINADA POR MAESTRANZA			
Carga de Peso entre vértices "i" y "j" ( $Q_{ij}$ )	Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia entre vértices "i" y "j" (L/km) para una carga de peso $Q_{ij}$	D(i,j)	Litros de Combustible consumido ( $\rho_{ij} * D(i,j)$ )
$Q_{0,1} = 0.000000$ toneladas	$\rho_{0,1} = 0.379$ l/km	4459 m	1.6877 litros
$Q_{1,2} = 0.363705$ toneladas	$\rho_{1,2} = 0.385$ l/km	201 m	0.0774 litros
$Q_{2,3} = 0.641377$ toneladas	$\rho_{2,3} = 0.390$ l/km	201 m	0.0785 litros
$Q_{3,4} = 0.924665$ toneladas	$\rho_{3,4} = 0.396$ l/km	205 m	0.0811 litros
$Q_{4,5} = 1.216713$ toneladas	$\rho_{4,5} = 0.401$ l/km	491 m	0.1969 litros
$Q_{5,6} = 1.497554$ toneladas	$\rho_{5,6} = 0.406$ l/km	359 m	0.1458 litros
$Q_{6,7} = 1.704948$ toneladas	$\rho_{6,7} = 0.410$ l/km	158 m	0.0648 litros
$Q_{7,8} = 1.999027$ toneladas	$\rho_{7,8} = 0.415$ l/km	274 m	0.1138 litros
$Q_{8,9} = 2.287082$ toneladas	$\rho_{8,9} = 0.421$ l/km	190 m	0.0800 litros
$Q_{9,10} = 2.584778$ toneladas	$\rho_{9,10} = 0.426$ l/km	187 m	0.0797 litros
$Q_{10,11} = 2.906242$ toneladas	$\rho_{10,11} = 0.432$ l/km	753 m	0.3255 litros
$Q_{11,12} = 3.256611$ toneladas	$\rho_{11,12} = 0.439$ l/km	1174 m	0.5151 litros
$Q_{12,13} = 3.570908$ toneladas	$\rho_{12,13} = 0.445$ l/km	883 m	0.3926 litros
$Q_{13,14} = 3.818445$ toneladas	$\rho_{13,14} = 0.449$ l/km	163 m	0.0732 litros
$Q_{14,15} = 4.080266$ toneladas	$\rho_{14,15} = 0.454$ l/km	93 m	0.0422 litros
$Q_{15,16} = 4.411969$ toneladas	$\rho_{15,16} = 0.460$ l/km	78 m	0.0359 litros
$Q_{16,17} = 4.721282$ toneladas	$\rho_{16,17} = 0.466$ l/km	144 m	0.0671 litros
$Q_{17,18} = 4.983766$ toneladas	$\rho_{17,18} = 0.471$ l/km	327 m	0.1539 litros
$Q_{18,19} = 5.266643$ toneladas	$\rho_{18,19} = 0.476$ l/km	627 m	0.2984 litros
$Q_{19,20} = 5.514891$ toneladas	$\rho_{19,20} = 0.481$ l/km	436 m	0.2095 litros
$Q_{20,21} = 5.807128$ toneladas	$\rho_{20,21} = 0.486$ l/km	15902 m	7.7277 litros
$Q_{21,22} = 0.000000$ toneladas	$\rho_{21,22} = 0.379$ l/km	14805 m	5.6037 litros
<b>TOTAL</b>		<b>42110 m</b>	<b>18.051 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE PARA RUTA G-05 DETERMINADA POR EL ALGORITMO GENÉTICO			
Carga de Peso entre vértices "i" y "j" ( $Q_{ij}$ )	Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia entre vértices "i" y "j" (L/km) para una carga de peso $Q_{ij}$	D(i,j)	Litros de Combustible consumido ( $\rho_{ij} * D(i,j)$ )
$Q_{0,1} = 0.000000$ toneladas	$\rho_{0,1} = 0.379$ l/km	4459 m	1.6877 litros
$Q_{1,2} = 0.296860$ toneladas	$\rho_{1,2} = 0.384$ l/km	201 m	0.0772 litros
$Q_{2,3} = 0.612820$ toneladas	$\rho_{2,3} = 0.390$ l/km	201 m	0.0784 litros
$Q_{3,4} = 0.870252$ toneladas	$\rho_{3,4} = 0.395$ l/km	205 m	0.0809 litros
$Q_{4,5} = 1.177998$ toneladas	$\rho_{4,5} = 0.400$ l/km	230 m	0.0921 litros
$Q_{5,6} = 1.439855$ toneladas	$\rho_{5,6} = 0.405$ l/km	645 m	0.2613 litros
$Q_{6,7} = 1.696478$ toneladas	$\rho_{6,7} = 0.410$ l/km	591 m	0.2422 litros
$Q_{7,8} = 1.979059$ toneladas	$\rho_{7,8} = 0.415$ l/km	436 m	0.1810 litros
$Q_{8,9} = 2.333220$ toneladas	$\rho_{8,9} = 0.422$ l/km	424 m	0.1788 litros
$Q_{9,10} = 2.694000$ toneladas	$\rho_{9,10} = 0.428$ l/km	78 m	0.0334 litros
$Q_{10,11} = 2.973861$ toneladas	$\rho_{10,11} = 0.434$ l/km	144 m	0.0624 litros
$Q_{11,12} = 3.268533$ toneladas	$\rho_{11,12} = 0.439$ l/km	261 m	0.1146 litros
$Q_{12,13} = 3.547082$ toneladas	$\rho_{12,13} = 0.444$ l/km	139 m	0.0617 litros
$Q_{13,14} = 3.904031$ toneladas	$\rho_{13,14} = 0.451$ l/km	225 m	0.1014 litros
$Q_{14,15} = 4.137629$ toneladas	$\rho_{14,15} = 0.455$ l/km	183 m	0.0833 litros
$Q_{15,16} = 4.374165$ toneladas	$\rho_{15,16} = 0.459$ l/km	648 m	0.2977 litros
$Q_{16,17} = 4.683483$ toneladas	$\rho_{16,17} = 0.465$ l/km	187 m	0.0870 litros
$Q_{17,18} = 4.979543$ toneladas	$\rho_{17,18} = 0.471$ l/km	190 m	0.0894 litros
$Q_{18,19} = 5.214722$ toneladas	$\rho_{18,19} = 0.475$ l/km	274 m	0.1301 litros
$Q_{19,20} = 5.520441$ toneladas	$\rho_{19,20} = 0.481$ l/km	158 m	0.0759 litros
$Q_{20,21} = 5.821925$ toneladas	$\rho_{20,21} = 0.486$ l/km	15384 m	7.4802 litros
$Q_{21,22} = 0.000000$ toneladas	$\rho_{21,22} = 0.379$ l/km	14805 m	5.6037 litros
<b>TOTAL</b>		<b>40068 m</b>	<b>17.101 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE EL RALENTI		
Vértice	Tiempo Promedio del "i" ésimo ralenti	Combustible consumido en el i-esimo ralenti
0	2.94 minutos	0.0153 litros
1	3.57 minutos	0.0185 litros
2	3.23 minutos	0.0168 litros
3	3.48 minutos	0.0181 litros
4	3.34 minutos	0.0174 litros
5	3.47 minutos	0.0180 litros
6	3.60 minutos	0.0187 litros
7	3.33 minutos	0.0173 litros
8	3.23 minutos	0.0168 litros
9	2.96 minutos	0.0154 litros
10	3.11 minutos	0.0162 litros
11	3.33 minutos	0.0173 litros
12	3.01 minutos	0.0157 litros
13	3.00 minutos	0.0156 litros
14	3.19 minutos	0.0166 litros
15	3.20 minutos	0.0166 litros
16	3.45 minutos	0.0179 litros
17	3.15 minutos	0.0164 litros
18	3.07 minutos	0.0159 litros
19	3.52 minutos	0.0183 litros
20	3.33 minutos	0.0173 litros
21	3.07 minutos	0.0160 litros
<b>TOTAL</b>	<b>71.6 minutos</b>	<b>0.3722 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE EL RALENTI		
Vértice	Tiempo Promedio del "i" ésimo ralenti	Combustible consumido en el i-esimo ralenti
0	3.34 minutos	0.0174 litros
1	3.03 minutos	0.0158 litros
2	3.47 minutos	0.0181 litros
3	3.41 minutos	0.0177 litros
4	3.49 minutos	0.0181 litros
5	3.50 minutos	0.0182 litros
6	3.09 minutos	0.0161 litros
7	3.30 minutos	0.0172 litros
8	3.53 minutos	0.0184 litros
9	3.58 minutos	0.0186 litros
10	3.05 minutos	0.0159 litros
11	3.29 minutos	0.0171 litros
12	2.99 minutos	0.0155 litros
13	3.54 minutos	0.0184 litros
14	3.26 minutos	0.0169 litros
15	3.15 minutos	0.0164 litros
16	3.25 minutos	0.0169 litros
17	3.14 minutos	0.0163 litros
18	3.06 minutos	0.0159 litros
19	2.90 minutos	0.0151 litros
20	3.16 minutos	0.0164 litros
21	3.53 minutos	0.0184 litros
<b>TOTAL</b>	<b>72.1 minutos</b>	<b>0.3748 litros</b>

Se simuló 100 ejecuciones, basándose en Wu, Tao, Qiao, y Zhang (2020) quienes en un estudio similar asumieron que cada contenedor genera una cantidad de residuos que sigue una distribución normal. Las tablas muestran solo 1 ejecución para la ruta recorrida en los escenarios determinados por Maestranza y por el Algoritmo Genético.

## Anexo 64. Cálculo de Consumo de Combustible para Ruta G-06

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE PARA RUTA G-06 DETERMINADA POR MAESTRANZA			
Carga de Peso entre vértices "i" y "j" ( $Q_{i,j}$ )	Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia entre vértices "i" y "j" (L/km) para una carga de peso $Q_{i,j}$	D(i,j)	Litros de Combustible consumido ( $p_{ij} * D(i,j)$ )
Q <sub>0,1</sub> = 0.000000 toneladas	$\rho_{0,1} = 0.379$ l/km	1778 m	0.6730 litros
Q <sub>1,2</sub> = 0.208841 toneladas	$\rho_{1,2} = 0.382$ l/km	239 m	0.0914 litros
Q <sub>2,3</sub> = 0.606022 toneladas	$\rho_{2,3} = 0.390$ l/km	159 m	0.0620 litros
Q <sub>3,4</sub> = 0.807332 toneladas	$\rho_{3,4} = 0.393$ l/km	931 m	0.3663 litros
Q <sub>4,5</sub> = 1.187589 toneladas	$\rho_{4,5} = 0.400$ l/km	80 m	0.0320 litros
Q <sub>5,6</sub> = 1.775676 toneladas	$\rho_{5,6} = 0.411$ l/km	108 m	0.0444 litros
Q <sub>6,7</sub> = 2.090742 toneladas	$\rho_{6,7} = 0.417$ l/km	170 m	0.0709 litros
Q <sub>7,8</sub> = 2.412967 toneladas	$\rho_{7,8} = 0.423$ l/km	2345 m	0.9923 litros
Q <sub>8,9</sub> = 2.832901 toneladas	$\rho_{8,9} = 0.431$ l/km	453 m	0.1952 litros
Q <sub>9,10</sub> = 3.210584 toneladas	$\rho_{9,10} = 0.438$ l/km	130 m	0.0569 litros
Q <sub>10,11</sub> = 3.731276 toneladas	$\rho_{10,11} = 0.448$ l/km	862 m	0.3858 litros
Q <sub>11,12</sub> = 4.094050 toneladas	$\rho_{11,12} = 0.454$ l/km	378 m	0.1717 litros
Q <sub>12,13</sub> = 4.302681 toneladas	$\rho_{12,13} = 0.458$ l/km	193 m	0.0884 litros
Q <sub>13,14</sub> = 4.693135 toneladas	$\rho_{13,14} = 0.465$ l/km	138 m	0.0642 litros
Q <sub>14,15</sub> = 4.860389 toneladas	$\rho_{14,15} = 0.468$ l/km	2119 m	0.9926 litros
Q <sub>15,16</sub> = 5.464287 toneladas	$\rho_{15,16} = 0.480$ l/km	361 m	0.1731 litros
Q <sub>16,17</sub> = 5.943545 toneladas	$\rho_{16,17} = 0.488$ l/km	226 m	0.1104 litros
Q <sub>17,18</sub> = 6.153796 toneladas	$\rho_{17,18} = 0.492$ l/km	157 m	0.0773 litros
Q <sub>18,19</sub> = 6.243437 toneladas	$\rho_{18,19} = 0.494$ l/km	210 m	0.1037 litros
Q <sub>19,20</sub> = 6.558050 toneladas	$\rho_{19,20} = 0.500$ l/km	509 m	0.2544 litros
Q <sub>20,21</sub> = 6.991206 toneladas	$\rho_{20,21} = 0.508$ l/km	89 m	0.0452 litros
Q <sub>21,22</sub> = 7.182056 toneladas	$\rho_{21,22} = 0.511$ l/km	393 m	0.2010 litros
Q <sub>22,23</sub> = 7.667477 toneladas	$\rho_{22,23} = 0.520$ l/km	349 m	0.1816 litros
Q <sub>23,24</sub> = 8.133606 toneladas	$\rho_{23,24} = 0.529$ l/km	126 m	0.0667 litros
Q <sub>24,25</sub> = 8.291052 toneladas	$\rho_{24,25} = 0.532$ l/km	226 m	0.1202 litros
Q <sub>25,26</sub> = 8.417481 toneladas	$\rho_{25,26} = 0.534$ l/km	184 m	0.0983 litros
Q <sub>26,27</sub> = 8.904478 toneladas	$\rho_{26,27} = 0.543$ l/km	122 m	0.0663 litros
Q <sub>27,28</sub> = 9.510669 toneladas	$\rho_{27,28} = 0.554$ l/km	17122 m	9.4940 litros
Q <sub>28,29</sub> = 0.000000 toneladas	$\rho_{28,29} = 0.379$ l/km	14802 m	5.6026 litros
<b>TOTAL</b>		<b>44959 m</b>	<b>20.882 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE PARA RUTA G-06 DETERMINADA POR EL ALGORITMO GENÉTICO			
Carga de Peso entre vértices "i" y "j" ( $Q_{i,j}$ )	Tasa de consumo de combustible por unidad de distancia entre vértices "i" y "j" (L/km) para una carga de peso $Q_{i,j}$	D(i,j)	Litros de Combustible consumido ( $p_{ij} * D(i,j)$ )
Q <sub>0,1</sub> = 0.000000 toneladas	$\rho_{0,1} = 0.379$ l/km	2397 m	0.9073 litros
Q <sub>1,2</sub> = 0.204568 toneladas	$\rho_{1,2} = 0.382$ l/km	249 m	0.0952 litros
Q <sub>2,3</sub> = 0.463448 toneladas	$\rho_{2,3} = 0.387$ l/km	159 m	0.0615 litros
Q <sub>3,4</sub> = 0.793708 toneladas	$\rho_{3,4} = 0.393$ l/km	931 m	0.3661 litros
Q <sub>4,5</sub> = 0.873872 toneladas	$\rho_{4,5} = 0.395$ l/km	80 m	0.0316 litros
Q <sub>5,6</sub> = 1.061730 toneladas	$\rho_{5,6} = 0.398$ l/km	108 m	0.0430 litros
Q <sub>6,7</sub> = 1.654089 toneladas	$\rho_{6,7} = 0.409$ l/km	170 m	0.0695 litros
Q <sub>7,8</sub> = 2.048673 toneladas	$\rho_{7,8} = 0.416$ l/km	1232 m	0.5130 litros
Q <sub>8,9</sub> = 2.412667 toneladas	$\rho_{8,9} = 0.423$ l/km	550 m	0.2327 litros
Q <sub>9,10</sub> = 2.753442 toneladas	$\rho_{9,10} = 0.429$ l/km	138 m	0.0593 litros
Q <sub>10,11</sub> = 3.039334 toneladas	$\rho_{10,11} = 0.435$ l/km	209 m	0.0909 litros
Q <sub>11,12</sub> = 3.181575 toneladas	$\rho_{11,12} = 0.437$ l/km	360 m	0.1575 litros
Q <sub>12,13</sub> = 3.627385 toneladas	$\rho_{12,13} = 0.446$ l/km	110 m	0.0490 litros
Q <sub>13,14</sub> = 3.906795 toneladas	$\rho_{13,14} = 0.451$ l/km	130 m	0.0586 litros
Q <sub>14,15</sub> = 4.486817 toneladas	$\rho_{14,15} = 0.462$ l/km	371 m	0.1712 litros
Q <sub>15,16</sub> = 4.832194 toneladas	$\rho_{15,16} = 0.468$ l/km	88 m	0.0412 litros
Q <sub>16,17</sub> = 5.176727 toneladas	$\rho_{16,17} = 0.474$ l/km	392 m	0.1859 litros
Q <sub>17,18</sub> = 5.411854 toneladas	$\rho_{17,18} = 0.479$ l/km	223 m	0.1067 litros
Q <sub>18,19</sub> = 5.822040 toneladas	$\rho_{18,19} = 0.486$ l/km	239 m	0.1162 litros
Q <sub>19,20</sub> = 6.213035 toneladas	$\rho_{19,20} = 0.493$ l/km	525 m	0.2591 litros
Q <sub>20,21</sub> = 6.562446 toneladas	$\rho_{20,21} = 0.500$ l/km	274 m	0.1370 litros
Q <sub>21,22</sub> = 6.889098 toneladas	$\rho_{21,22} = 0.506$ l/km	226 m	0.1144 litros
Q <sub>22,23</sub> = 7.437008 toneladas	$\rho_{22,23} = 0.516$ l/km	184 m	0.0950 litros
Q <sub>23,24</sub> = 7.866970 toneladas	$\rho_{23,24} = 0.524$ l/km	121 m	0.0634 litros
Q <sub>24,25</sub> = 8.119113 toneladas	$\rho_{24,25} = 0.529$ l/km	732 m	0.3870 litros
Q <sub>25,26</sub> = 8.425534 toneladas	$\rho_{25,26} = 0.534$ l/km	157 m	0.0839 litros
Q <sub>26,27</sub> = 8.772363 toneladas	$\rho_{26,27} = 0.541$ l/km	216 m	0.1168 litros
Q <sub>27,28</sub> = 9.200733 toneladas	$\rho_{27,28} = 0.549$ l/km	16164 m	8.8701 litros
Q <sub>28,29</sub> = 0.000000 toneladas	$\rho_{28,29} = 0.379$ l/km	14744 m	5.5806 litros
<b>TOTAL</b>		<b>41479 m</b>	<b>19.064 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE EL RALENTI		
Vértice	Tiempo Promedio del "i" ésimo ralenti	Combustible consumido en el i-ésimo ralenti
0	3.08 minutos	0.0160 litros
1	2.91 minutos	0.0151 litros
2	2.59 minutos	0.0135 litros
3	2.83 minutos	0.0147 litros
4	3.54 minutos	0.0184 litros
5	3.72 minutos	0.0193 litros
6	4.29 minutos	0.0223 litros
7	3.89 minutos	0.0202 litros
8	3.88 minutos	0.0202 litros
9	3.21 minutos	0.0167 litros
10	4.39 minutos	0.0228 litros
11	2.87 minutos	0.0149 litros
12	2.58 minutos	0.0134 litros
13	2.70 minutos	0.0140 litros
14	3.58 minutos	0.0186 litros
15	3.59 minutos	0.0187 litros
16	3.36 minutos	0.0175 litros
17	3.86 minutos	0.0201 litros
18	2.44 minutos	0.0127 litros
19	3.76 minutos	0.0195 litros
20	3.71 minutos	0.0193 litros
21	2.81 minutos	0.0146 litros
22	4.27 minutos	0.0222 litros
23	3.73 minutos	0.0194 litros
24	2.62 minutos	0.0136 litros
25	2.22 minutos	0.0116 litros
26	3.73 minutos	0.0194 litros
27	3.15 minutos	0.0164 litros
28	4.23 minutos	0.0220 litros
<b>TOTAL</b>	<b>98 minutos</b>	<b>0.5071 litros</b>

COMBUSTIBLE CONSUMIDO DURANTE EL RALENTI		
Vértice	Tiempo Promedio del "i" ésimo ralenti	Combustible consumido en el i-ésimo ralenti
0	3.59 minutos	0.0187 litros
1	4.19 minutos	0.0218 litros
2	3.44 minutos	0.0179 litros
3	2.50 minutos	0.0130 litros
4	3.93 minutos	0.0205 litros
5	2.59 minutos	0.0135 litros
6	4.22 minutos	0.0219 litros
7	3.42 minutos	0.0178 litros
8	4.15 minutos	0.0216 litros
9	2.23 minutos	0.0116 litros
10	2.47 minutos	0.0128 litros
11	2.59 minutos	0.0135 litros
12	2.09 minutos	0.0109 litros
13	4.33 minutos	0.0225 litros
14	3.37 minutos	0.0175 litros
15	2.46 minutos	0.0128 litros
16	3.16 minutos	0.0164 litros
17	3.13 minutos	0.0163 litros
18	3.49 minutos	0.0182 litros
19	2.65 minutos	0.0138 litros
20	3.98 minutos	0.0207 litros
21	4.22 minutos	0.0220 litros
22	3.96 minutos	0.0206 litros
23	3.56 minutos	0.0185 litros
24	4.04 minutos	0.0210 litros
25	2.38 minutos	0.0124 litros
26	2.50 minutos	0.0130 litros
27	3.33 minutos	0.0173 litros
28	3.42 minutos	0.0178 litros
<b>TOTAL</b>	<b>95 minutos</b>	<b>0.4961 litros</b>

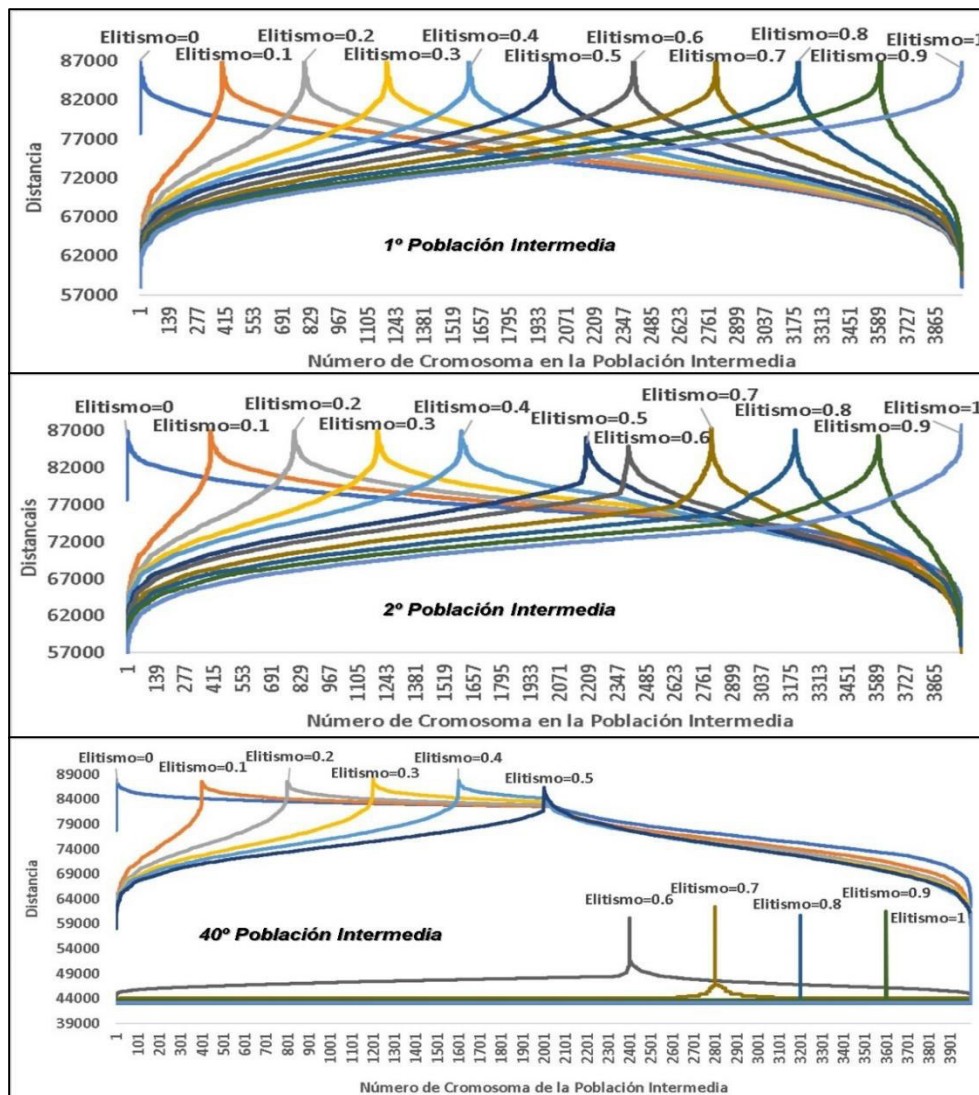
Se simuló 100 ejecuciones, basándose en Wu, Tao, Qiao, y Zhang (2020) quienes en un estudio similar asumieron que cada contenedor genera una cantidad de residuos que sigue una distribución normal. Las tablas muestran solo 1 ejecución para la ruta recorrida en los escenarios determinados por Maestranza y por el Algoritmo Genético.

## Anexo 65. Efecto del Elitismo en la Población Intermedia

Para poder visualizar como nuestro Criterio Elitista afecta el Ordenamiento Final de nuestra Población Intermedia se realizó la ejecución de nuestro Algoritmo Genético en la Ruta G-01, para Popsiz=2000, Mutación=0.001, Torneo=6, Generacionsize=40, donde se hizo variar el valor de Elitismo tal como se muestra en la Figura 73.

**Figura 73**

*Comportamiento de Cromosomas de la 1<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup>, 40<sup>o</sup> Población Intermedia según Elitismo*



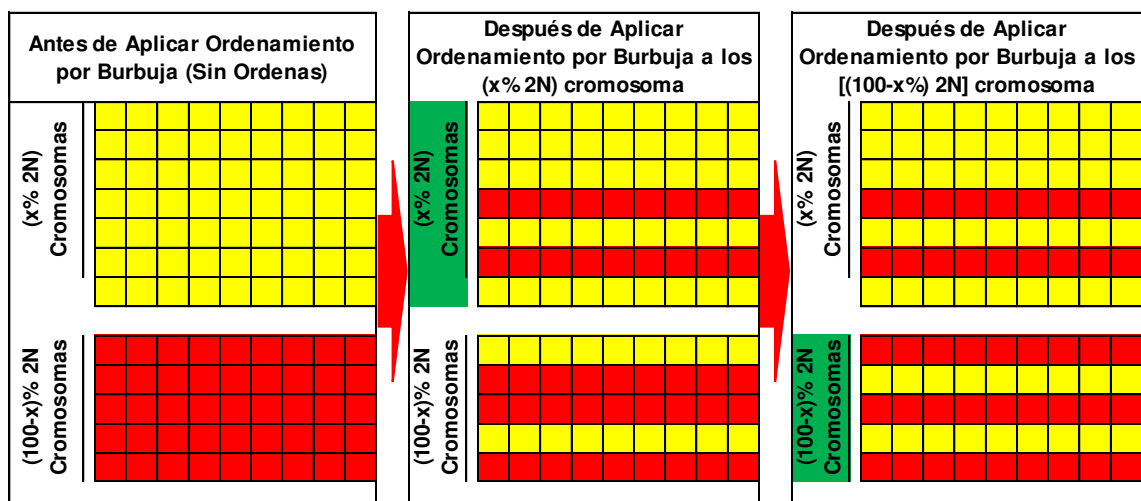


De la Figura 73, se observa el efecto del *Elitismo* el cual al ser aplicado por medio de una Ordenación previa (por el método de la Burbuja) de los cromosomas de la Población Intermedia (por medio de su Distancia Asociada) genero un estiramiento horizontal de la curva y conforme se incrementa el número de generaciones para los valores elitistas de 0.6, 0.7, 0.8, 0.8 y 1 se presenta un achatamiento de la curva convergiendo a un óptimo local.

Se debe notar que el estiramiento horizontal de las curvas para la Primera Población Intermedia (conforme aumenta el valor de elitismo), es debido a que al usar el Ordenamiento por el método de la Burbuja para ordenar los primeros  $[x\% 2N]$  Cromosomas, los peores cromosomas de este grupo son movidos de posición al final de la población generando una combinación de cromosomas de ambos grupos iniciales. Para luego del primer ordenamiento (de forma creciente con respecto a la distancia asociada al cromosoma), se realizó el segundo ordenamiento según los índices respectivos correspondientes a los  $[(100-x)\% 2N]$  cromosomas actualizados resultados de los movimientos provocados por el primer ordenamiento.

**Figura 74**

*Movimientos Provocados durante el Método de Ordenación de la Burbuja*



## **Anexo 66. Entrevista Exploratoria**

**Tema:** Sistema de Recolección de residuos sólidos en Bellavista

**Objetivo:** Conocer el Sistema de Recolección de Residuos Sólidos en Bellavista

**Entrevistado:** Jair Pool Jara Diaz – Subgerente de Limpieza publica

**Fecha de la entrevista:** 11 de junio del 2021

**Lugar donde se realizó la entrevista:** Oficinas de Maestranza - Av. Miguel Grau 2230, Bellavista 07001

**Entrevistador:** David Astoquillca

**Tipo de Entrevista:** Semiestructurada

### **1. ¿Cuántos contenedores soterrados tienen actualmente?**

Se cuenta con 115 contenedores soterrados de carga vertical y 2 con sistema hidráulico, las cuales son denominadas mellizos.

### **2. ¿El mantenimiento de los contenedores soterrados con qué frecuencia se presenta?**

El primer mantenimiento se dio en julio del 2020. Muy aparte del mantenimiento se realiza la limpieza de los contenedores soterrados de manera diaria.

### **3. ¿Con que frecuencia hacen el mantenimiento preventivo o correctivo?**

Aun no lo definen, pero debería ser semestral o anual

**4. ¿La actualización de su información es de que fecha?**

Recolectada entre mayo y junio de 2019 en campo, y actualizada entre junio a agosto.

**5. ¿Cuántos camiones manejan actualmente?**

Una compactadora con sistema hidráulico y un volquete. Donde la compactadora tiene una ruta aparte para el recojo de los residuos en los mellizos.

**6. ¿Cuál es la frecuencia de recojo de los contenedores soterrados?**

La frecuencia de los contenedores soterrados de carga vertical es diaria, mientras que la recolección en los mellizos es interdiaria.

**7. ¿El distrito está dividido en cuantas zonas?**

El distrito cuenta con una división de 4 zonas: Viru, Urbanizaciones, Ciudad y Centro.

**8. ¿Cuántas rutas se tiene vigente para la recolección de residuos sólidos?**

Para la recolección de residuos ubicados en las veredas se tiene una ruta por cada sector donde se incluye el recojo en los mellizos por medio de un camión compactador.

**9. ¿Cuántos turnos tienen?**

Mañana, tarde y noche, el toque de queda no afecta las labores actualmente.

**10. ¿Han retirado contenedores y por qué?**

Si, por muy mal estado por el mal uso de los ciudadanos, falta de mantenimiento y por operaciones de la línea 2 del Metro de Lima.

**11. ¿Influye el lado por donde el camión recolector se acerca al contenedor para realizar la operación de recojo?**

No, pero generalmente se deja a criterio del operador y su habilidad para maniobrar el brazo mecánico el camión

**12. ¿La longitud del brazo mecánico es capaz de llegar a realizar la operación de recojo de residuos en los contenedores soterrados en cualquier lado de la avenida donde se ubique el camión recolector?**

Si, por que tiende a extenderse con una longitud suficiente para realizar la operación.

**13. ¿Como determinan las rutas de recolección de residuos sólidos de los contenedores soterrados?**

Se ha usado un software, pero como parte de una consultoría externa. Durante el recorrido de estas rutas si el camión llega a su completar su capacidad permitida sin haber concluido su recolección en todos los contenedores asignados, se procede a ir a dejar los residuos recolectados al relleno sanitario para luego regresar y al distrito y completar su asignación del turno respectivo o en otro caso dichos contenedores soterrados pendientes pasarían a ser visitados por otro vehículo recolector.