



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Matemáticas

Escuela Profesional de Investigación Operativa

**Ruteo de camiones recolectores de residuos sólidos con
Algoritmo Genético en la zona de Tahuantinsuyo-
Independencia**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Investigación
Operativa

AUTOR

Anderson Ricardo GIL MORA

ASESOR

Dr. Carlos ORTEGA MUÑOZ

Lima, Perú

2021



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

Gil, A. (2021). *Ruteo de camiones recolectores de residuos sólidos con Algoritmo Genético en la zona de Tahuantinsuyo-Independencia*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Escuela Profesional de Investigación Operativa]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Anderson Ricardo Gil Mora
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	48492249
URL de ORCID	No aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Ortega Muñoz Carlos
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10196265
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8663-4095
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Calderón Rodríguez Carlos Enrique
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09910975
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Cárdenas Mariño Flor Cagniy
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	45422233
Datos de investigación	
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	Enero 2021 – diciembre 2021
URL de disciplinas OCDE	Matemáticas aplicadas https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL EN LA MODALIDAD VIRTUAL PARA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO(A) EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA (PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2021-I)

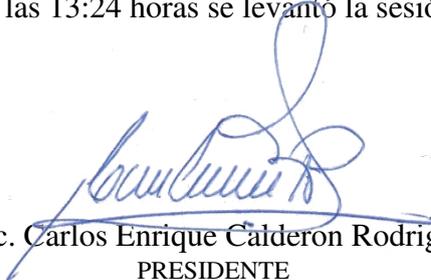
En Lima, siendo las 13:09 horas del domingo 03 de octubre del 2021, se reunieron los docentes designados como Miembros del Jurado del Trabajo de Suficiencia Profesional (PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2021-I): Lic. Carlos Enrique Calderón Rodríguez (PRESIDENTE), Mg. Flor Cagniy Cárdenas Mariño (MIEMBRO) y el Dr. Carlos Ortega Muñoz (MIEMBRO ASESOR), para la sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional titulado: “**RUTEO DE CAMIONES RECOLECTORES DE RESIDUOS SÓLIDOS CON ALGORITMO GENÉTICO EN LA ZONA DE TAHUANTINSUYO - INDEPENDENCIA**”, presentado por el señor **Bachiller Anderson Ricardo Gil Mora**, para optar el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

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

Realizada la evaluación correspondiente por los miembros del Jurado Evaluador, el expositor mereció la aprobación **Sobresaliente**, con un calificativo promedio de **18**.

A continuación, los miembros del Jurado dan manifiesto que el participante **Bachiller Anderson Ricardo Gil Mora** ha aprobado el Trabajo de Suficiencia Profesional.

Siendo las 13:24 horas se levantó la sesión firmando para constancia la presente Acta.


Lic. Carlos Enrique Calderon Rodriguez
PRESIDENTE


Mg. Flor Cagniy Cardenas Mariño
MIEMBRO


Dr. Carlos Ortega Muñoz
MIEMBRO ASESOR

Agradecimientos

A Dios y a mis padres. A Dios porque sin él nada sería posible y a mis padres Tereza Mora Cueva y Ricardo Gil Paredes por su amor, paciencia, dedicación, comprensión y sacrificio hicieron que yo pudiera alcanzar una de mis metas, por esta razón este trabajo lleva mucho de ustedes. Mil gracias a ustedes, los amo demasiado.

Este trabajo también se lo dedico a Celine Requejo, una persona que estuvo conmigo en todo momento y me apoyo en cada decisión que tomé.

Resumen

Ruteo de camiones recolectores de residuos sólidos con Algoritmo Genético en la zona de Tahuantinsuyo-Independencia.

Gil Mora Anderson Ricardo

Octubre de 2021

Asesor: : Ortega Muñoz Carlos

Título obtenido : Licenciado en Investigación Operativa

Este trabajo tiene como objetivo principal encontrar una ruta eficiente mediante el ruteo de los camiones recolectores de residuos sólidos sobre puntos de acopio previamente localizados estratégicamente. Con esta propuesta se da una solución a la ineficiente gestión de las rutas que se sigue por cada uno de los camiones recolectores de residuos sólidos. Se ha utilizado un algoritmo para el desarrollo de esta aplicación, el Algoritmo Genético para realizar el ruteo sobre los puntos de acopio.

Este algoritmo está clasificado como una metaheurística, y sus aplicaciones en la optimización combinatoria son diversas, es así como se presenta el Algoritmo Genético para Ruteo.

Este estudio presenta los lugares en donde se deberían localizar los puntos de acopio para los residuos sólidos y dos rutas factibles a seguir por los camiones recolectores. Se han seleccionado estratégicamente 176 puntos de acopio para residuos sólidos y los camiones de 25 y 30 toneladas como resultado hicieron un recorrido total de 27661 y 42529 metros respectivamente.

Palabras clave: localización de puntos de acopio, ruteo, algoritmo genético, residuos sólidos, metaheurística.

Abstract

Routing solid waste collection trucks with Genetic Algorithm in the Tahuantinsuyo-Independencia area.

Gil Mora Anderson Ricardo

July 2021

Asesor: : Ortega Muñoz Carlos

Título obtenido : Licenciado en Investigación Operativa

The main objective of this work is to find an efficient route by routing solid waste collection trucks over previously strategically located collection points. With this proposal, a solution is given to the inefficient management of the routes that is followed by each of the solid waste collection trucks. An algorithm has been used for the development of this application, the Genetic Algorithm to carry out the routing on the collection points.

This algorithm is classified as a metaheuristic, and its applications in combinatorial optimization are diverse, this is how the Genetic Algorithm for Routing is presented.

This study presents the places where the collection points for solid waste should be located and two feasible routes to be followed by the collection trucks. 176 collection points for solid waste have been strategically selected and the trucks of 25 and 30 tons as a result made a total route of 27,661 and 42,529 meters respectively.

Keywords: location of collection points, routing, genetic algorithm, solid waste, metaheuristic.

ÍNDICE.

- I. INTRODUCCIÓN.
- II. INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD.
- III. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD.
 - FINALIDAD Y OBJETIVOS
 - PROBLEMÁTICA
 - DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA
 - METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS
- IV. RESULTADOS.
- V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.
- VI. BIBLIOGRAFÍA.

CAPITULO I - INTRODUCCIÓN

El ruteo de vehículos o el problema de enrutamiento fue introducido en año 1959 por Dantzig y Ramser mediante una aplicación real de la entrega de gasolina a distintas estaciones y propusieron un modelo matemático, el problema de ruteo de vehículos o VRP (vehicle routing problem) por sus siglas en ingles puede entenderse como una generalización del problema del agente viajero o TSP(traveling salesman problem) por sus siglas en inglés, considerando ilimitada las capacidades de los vehículos el problema del agente viajero tiene por objetivo encontrar la menor distancia en recorrer los una cantidad determinada de ciudades sin pasar dos veces por una misma ciudad y volver al punto de partida (Applegate, Bixby, Chvátal, & Cook, 2007).

Los problemas de enrutamiento de vehículos pueden ser desarrollados por métodos exactos, sin embargo, al insertar restricciones o aumentar significativamente el número de ciudades(nodos) las complejidades de estos problemas crecen y esto hace que no puedan ser abordados por métodos exactos, se pueden entender como métodos exactos a los que producen una solución óptima (Daza, Montoya, & Narducci, 2013).

En la vida real se encuentran problemas de gran tamaño y la necesidad de abordar estos problemas dio cabida a la introducción de algoritmos heurísticos y metaheurísticos para el tratado del problema del agente viajero y sus generalizaciones, cabe resaltar que estos algoritmos no brindan una solución óptima, pero si en muchos casos permiten acercarse significativamente a resultado óptimo. Un ejemplo de heurística para el tratado del problema de ruteo vehicular es el propuesto por Clarke y Wright, conocido como el algoritmo de ahorro (Clarke & Wright, 1964).

En este trabajo se abordará el problema del enrutamiento utilizando la metaheurística del Algoritmo Genético, este algoritmo forma parte de las denominadas técnicas evolutivas y fue inventado por Holland en la década de los 70 (Gallego, Escobar, & Toro, 2008).

Se observó en un sector del distrito de Independencia que los vehículos recolectores no cubrían todas las calles lo cual origina que existan cúmulos de residuos sólidos y permanezcan durante el día, trayendo consigo enfermedades,

insectos y olores fétidos, siendo esta la razón principal por la cual se abordó este problema.

El propósito de este estudio fue aplicar el Algoritmo Genético para el problema de ruteo de los camiones recolectores de residuos sólidos domiciliarios, los cuales deben pasar por puntos de acopio previamente localizados estratégicamente.

El estudio finalmente permitió obtener las rutas a seguir por los camiones recolectores en un sector del distrito de Independencia, Lima, Perú.

Este trabajo se ha organizado de la siguiente manera:

INTRODUCCIÓN. En este apartado se expone el estudio del medio, la problemática, justificación y los objetivos.

INFORMACIÓN DEL LUGAR. En este apartado se expone información relevante del lugar en donde se realiza la actividad.

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD. En este apartado se exponen las tareas a realizar, consta del ruteo sobre los puntos de acopio utilizando el Algoritmo Genético para encontrar rutas factibles.

CONCLUSIONES. En este apartado se muestra la justificación, metodología aplicada y descripción de la implementación.

RECOMENDACIONES. En este apartado se da a conocer las recomendaciones acerca de trabajo realizado.

BIBLIOGRAFÍA. En este apartado se muestra la bibliografía citada y utilizada para el desarrollo de este trabajo.

CAPITULO II - INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

1.1. Información del lugar:

Institución donde se desarrolló la actividad.	Municipalidad distrital de independencia.
Periodo de duración.	6 meses.
Razón social.	Municipalidad de Independencia.
Dirección postal.	Av. Túpac Amaru Nro. K4.5 P.J. el Ermitaño
Correo electrónico del profesional a cargo.	

Finalidad de la entidad:

Impulsar en el distrito de Independencia la Educación, Cultura y Ciudadanía Ambiental como prioridad de dominio público, que contribuya en abordar de manera participativa, técnica y sostenible los problemas ambientales que afectan al distrito (Municipalidad de Independencia, 2021).

Objetivos específicos de la entidad:

1. Realizar actividades que contribuyan a fortalecer los aprendizajes que requieren la población de Independencia para enfrentar los diversos problemas ambientales (Municipalidad de Independencia, 2021).
2. Promover una participación concertada y organizada de los actores sociales a través de la coorganización de actividades (Municipalidad de Independencia, 2021).
3. Contribuir a que los diferentes actores sociales del distrito prioricen la temática de la Educación, Cultura y Ciudadanía Ambiental (Municipalidad de Independencia, 2021).

CAPITULO III – DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

1. Finalidad y objetivos

Finalidad

Contribuir con la gestión que realiza la gerencia de desarrollo ambiental en el municipio de Independencia, brindando mis conocimientos adquiridos a lo largo de 5 años de preparación universitaria, aplicando una de muchas herramientas de la rama de las matemáticas conocida como “Investigación Operativa”.

Objetivos

Pregunta principal

¿Cómo establecer rutas factibles para los camiones recolectores de residuos sólidos, utilizando el algoritmo genético para ruteo, en el distrito de independencia, urbanización Tahuantinsuyo?

Preguntas específicas

- ¿Cómo se puede establecer rutas factibles para los camiones recolectores de residuos sólidos utilizando el algoritmo genético para ruteo?
- ¿Cómo hallar los recorridos de distancia cuasi-óptima para los camiones recolectores?

Objetivo principal

Establecer rutas factibles para los camiones recolectores de residuos sólidos, utilizando el algoritmo genético para ruteo, de tal manera que satisfagan toda la demanda de la zona de Tahuantinsuyo-Independencia.

Objetivos específicos

- Generar un código robusto computacionalmente para el Algoritmo Genético.
- Generar rutas factibles que pasen por todos los puntos de acopio anteriormente establecidos para el recojo residuos sólidos domiciliarios en la zona de Tahuantinsuyo-Independencia.

2. Problemática

La gestión de residuos sólidos en el departamento de Lima, Perú sigue siendo preocupante, muy a pesar que los distritos que conforman este departamento realizan estrategias para mitigar este impacto negativo en la sociedad, la reducción en la generación de residuos sólidos no se logra evidenciar. En la siguiente tabla se puede visualizar la producción de residuos sólidos en la provincia de Lima desde el año 2006, hasta el año 2015 (ver tabla número 1).

Tabla 1

Producción de residuos sólidos domiciliarios, provincia de Lima.

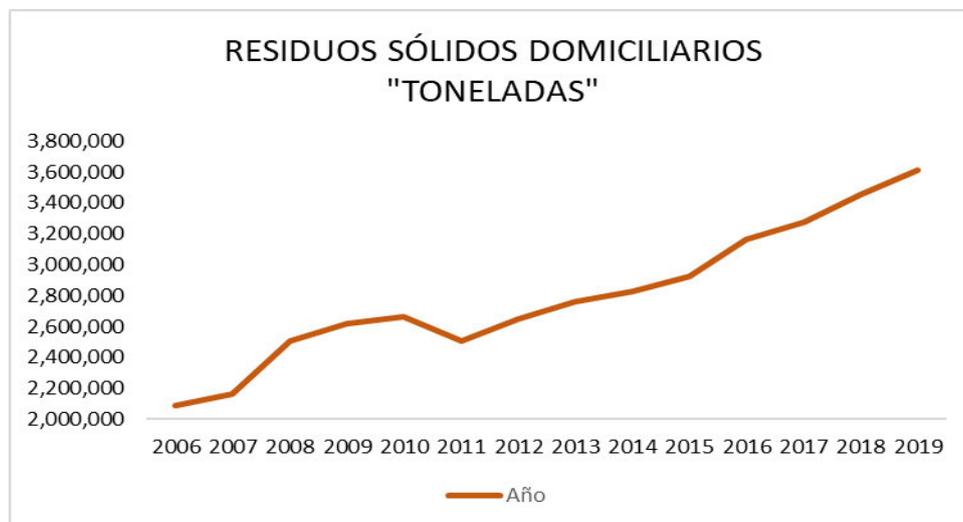
Año	Toneladas
2006	2,086,345
2007	2,164,669
2008	2,504,234
2009	2,617,529
2010	2,664,798
2011	2,503,586
2012	2,649,634
2013	2,759,701
2014	2,828,128
2015	2,924,779
2016	3 164 584
2017	3 276 748
2018	3 454 688
2019	3 613 906

Nota. Fuente: Anuario estadístico 2020 - INEI

A continuación, se presenta unan imagen donde se puede visualizar la tendencia a incrementar que tiene la generación de residuos sólidos domiciliarios (ver figura 1).

Figura 1

Tendencia en la producción de residuos sólidos domiciliarios, Lima, Perú



Nota. Fuente: *Elaboración propia.*

Se ha observado en el distrito de Independencia que las rutas seguidas por los camiones recolectores de residuos sólidos no cubren todas las calles y esto origina que algunas zonas tengan grandes cúmulos de basura por varias horas, es decir hasta que al día siguiente el personal de limpieza pase por esa zona o en el peor de los casos los cúmulos de basura estarán por días (ver figura 2).

Figura 2

Cúmulos de residuos sólidos en los AA. HH del distrito de Independencia

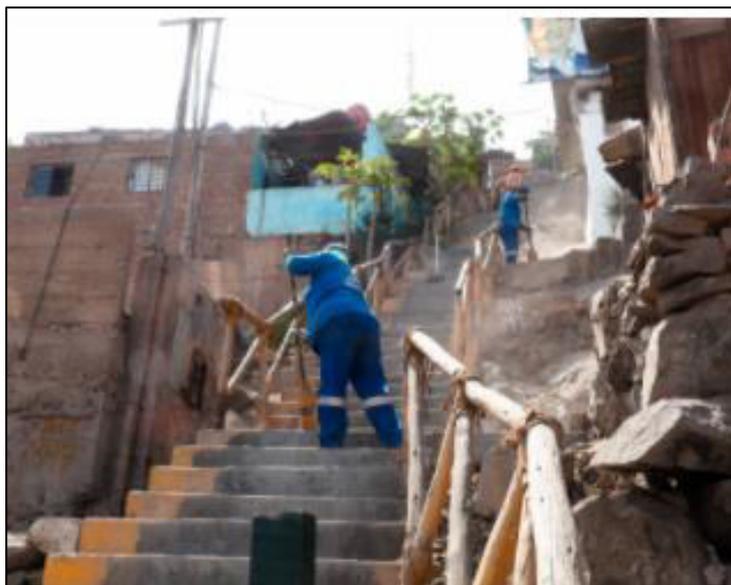


Nota. Fuente: *Municipalidad de Independencia.*

Una de las principales causas del problema que existen calles las cuales no son de alcance accesible para los camiones recolectores de residuos sólidos domiciliarios lo cual en conjunto con la falta de concientización ambiental de los pobladores hace que el problema tome fuerza (ver figura 3).

Figura 3

Cúmulos de residuos sólidos en los AA. HH del distrito de Independencia



Nota. Fuente: *Municipalidad de Independencia.*

Es evidente que este problema tiene fuertes repercusiones en la comodidad y en la salud de los pobladores, ya que trae consigo malos olores, insectos y enfermedades. Se requiere establecer puntos de acopio para los residuos sólidos domiciliarios y establecer rutas factibles para los camiones encargados del recojo de los residuos.

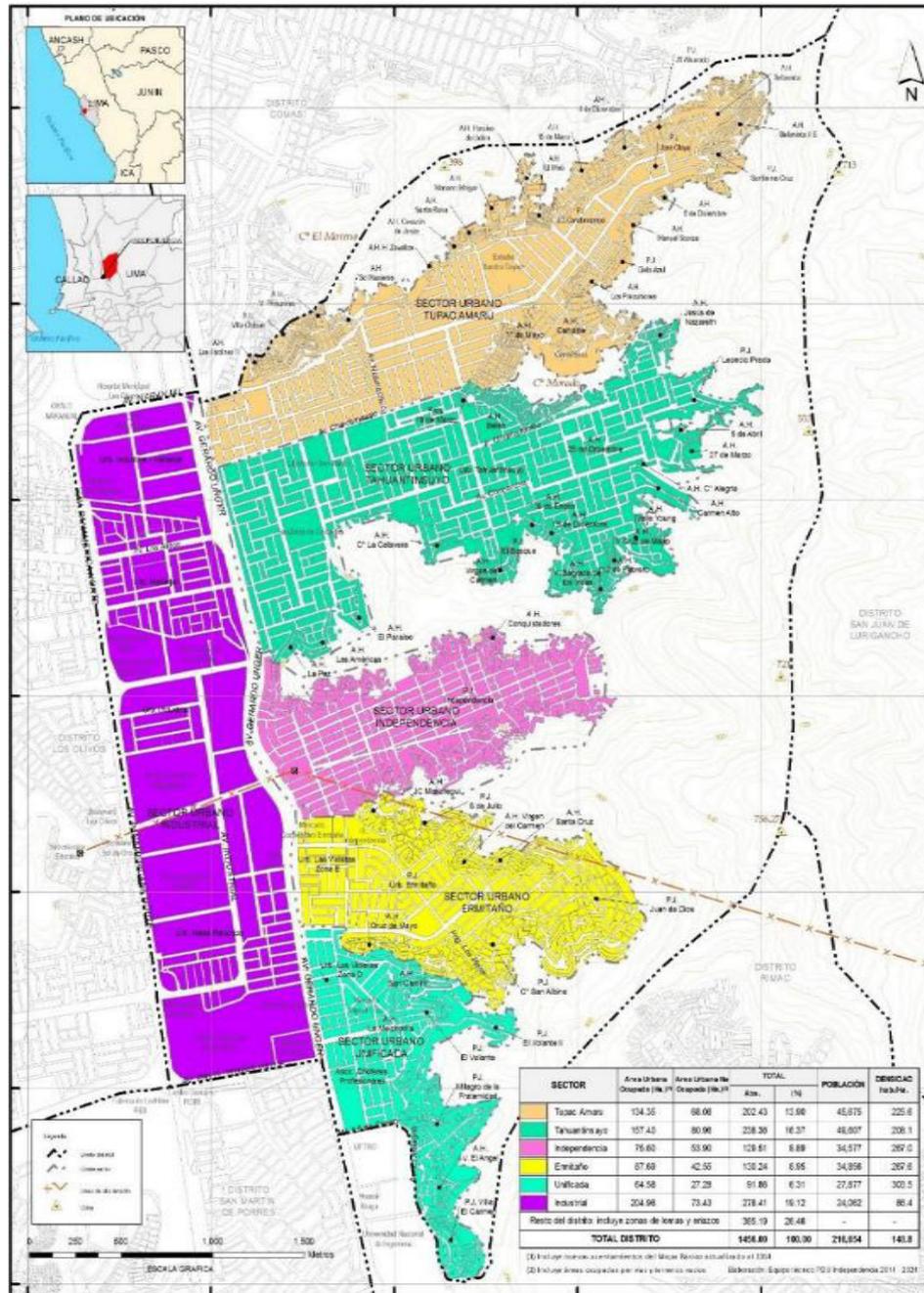
3. Descripción del sistema

El distrito de Independencia se ubica en las coordenadas 11°59'22" longitud sur 77°03'34" Longitud Norte, siendo uno de los distritos que conforman el llamado Lima norte. Independencia es un distrito que cuenta con una población de más de doscientos cincuenta mil habitantes («Municipalidad de Independencia», s. f.).

El distrito de independencia está conformado por seis ejes zonales, (ver figura 4).

Figura 4

Mapa sectorizado del distrito de Independencia



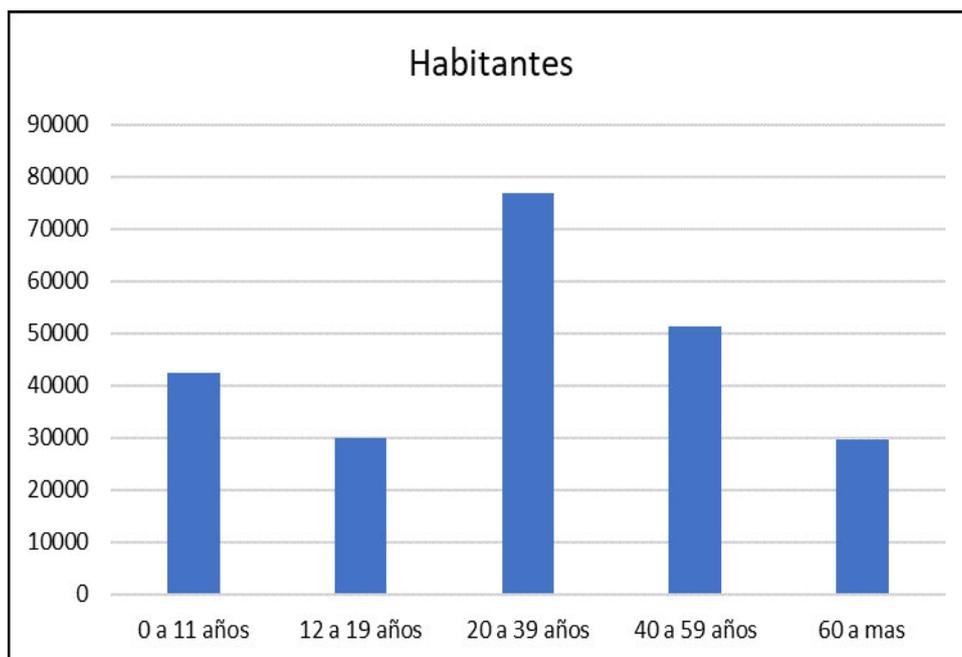
Nota. Fuente: Municipalidad de Independencia.

Población

Según el Ministerio de Salud la población estimada en el 2019 se presenta en la siguiente figura (ver figura 5), agrupada por intervalos de edades («MINISTERIO DE SALUD», s. f.).

Figura 5

Población por rango etario en el distrito de Independencia



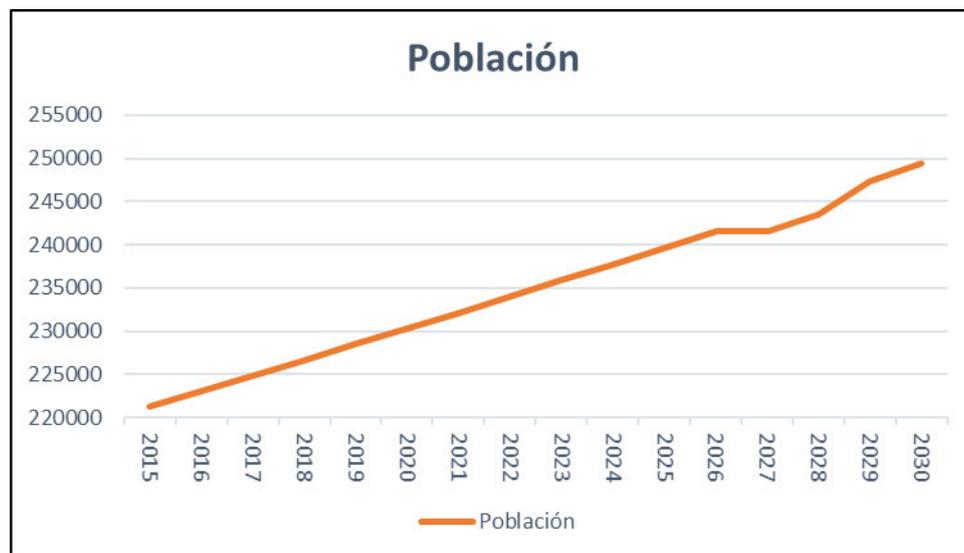
Nota. Fuente: *Elaboración propia.*

La suma hace un total de 230494 habitantes estimados al 2019 en todo el distrito de Independencia.

A continuación, se presenta la evolución de la población proyectada al 2030 según la Municipalidad de Independencia (ver figura 6), con una tasa de crecimiento poblacional del 0.08% por año («Municipalidad de Independencia», s. f.).

Figura 6

Proyección en la población al año 2030, distrito de Independencia

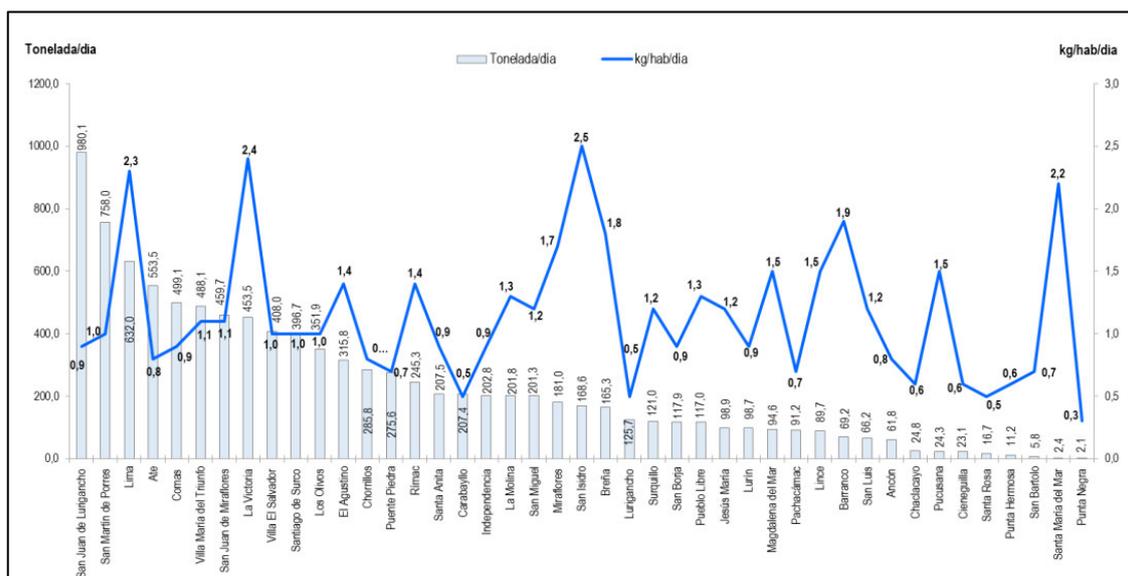


Nota. Fuente: *Elaboración propia.*

En la siguiente figura se muestra la producción per cápita de residuos sólidos domiciliarios en los distritos de Lima metropolitana según el I INEI en el 2017, notándose que la producción per cápita de independencia es de 0.9 kilos (ver figura 7).

Figura 7

Generación de residuos sólidos según distrito, 2019



Nota. Fuente: *Municipalidad metropolitana de Lima.*

Se pudo observar que el distrito de independencia tiene una producción de residuos sólidos domiciliarios per cápita de 0.9 kilogramos, esto es una constante desde el año 2013 (ver tabla 2).

Tabla 2

Producción de residuos sólidos domiciliarios per cápita, Independencia.

Año	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Kilogramo	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Zona de Aplicación

La zona donde se desarrolló la investigación es la Urbanización Tahuantinsuyo (ver figura 9), se presenta el mapa con sus 205 manzanas en el eje zonal de estudio, dividido en 4 zonas:

1. 1ra zona de Tahuantinsuyo.
2. 2da zona de Tahuantinsuyo.
3. 3ra zona de Tahuantinsuyo.
4. 4ta zona de Tahuantinsuyo.

Figura 9

Mapa de la urbanización Tahuantinsuyo, Independencia, sectorizado en sus 4 ejes zonales



Nota. Fuente: Elaboración propia.

4. MÉTODOGIA Y PROCEDIMIENTOS

1. Pasos a seguir

Para realizar el estudio se elaboró un plan de trabajo con las siguientes etapas:

1. Localizar puntos de acopio elegidos estratégicamente.
2. Diseñar y programar el algoritmo genético en un lenguaje de programación.
3. Implementar el algoritmo genético para rutear a los vehículos recolectores de residuos sólidos domiciliarios por los puntos de acopio anteriormente asignados.

2. Actividades

1. Actividad I.

Se realiza la selección de puntos de acopio en las intersecciones de todas las avenidas, no se tiene en cuenta aquellos puntos que se encuentren cerca a:

- Colegios
- Centros de salud
- Comedores
- Vasos de leche
- Parques
- Centros recreativos

En total se han seleccionado 176 puntos de acopio de residuos sólidos domiciliarios, estos puntos se encuentran distribuidos en cada una de las 4 zonas del eje zonal Tahuantinsuyo.

Sea P_i , Coordenada UTM del punto de acopio i .

donde $i = \{1, 2, \dots, 176\}$

Se presentan los puntos de acopio de residuos sólidos y su respectiva coordenada UTM (ver anexo 4), cuya finalidad es facilitar el cálculo de las distancias entre los diferentes puntos asignados en el eje zonal de Tahuantinsuyo (ver tabla 3).

Tabla 3

Coordenadas UTM de los puntos de acopio de residuos sólidos, Independencia.

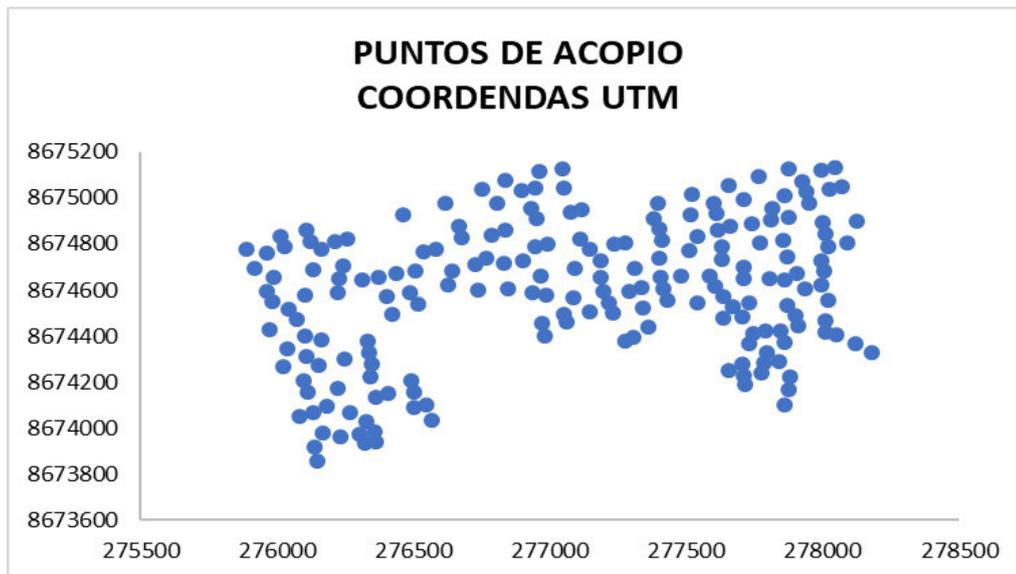
Eje zonal	PUNTO i	UTM "X"	UTM "Y"
1era zona	Punto1	276078.258	8673855.87
...
2da zona	Punto n	277096.36	8674596.77
...
3era zona	Punto n+m	277405.867	8674653.31
...
4ta zona	Punto 176	277876.295	8675129.4

Nota. Fuente: *Elaboración propia.*

Se muestran los puntos de acopio que serán ruteados por los camiones recolectores de residuos sólidos (ver figura 10).

Figura 10

Puntos de acopio en la Urbanización Tahuantinsuyo, primera, segunda, tercera y cuarta zona



Nota. Fuente: *Elaboración propia.*

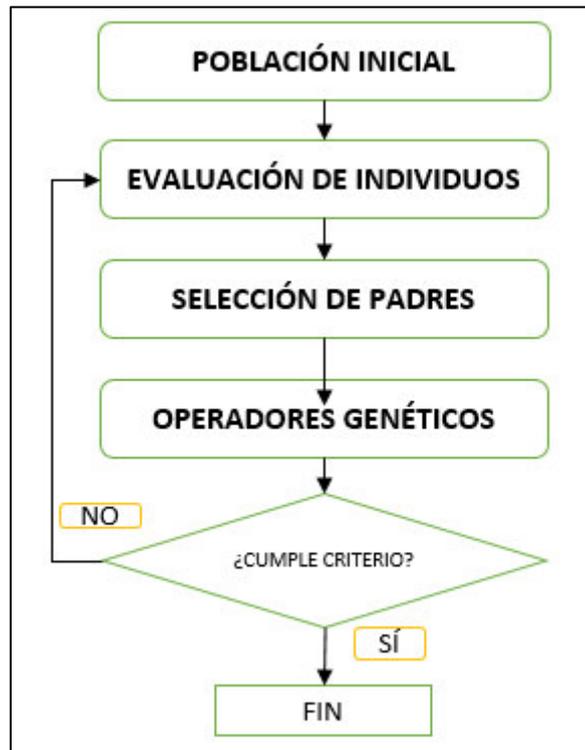
2. Actividad II.

Se modeló y se plasmó el algoritmo genético para ruteo en el lenguaje de programación MATLAB.

Se presenta el diagrama de flujo para el algoritmo genético (ver figura 10).

Figura 10

Diagrama de flujo del algoritmo genético



Nota. Fuente: *Elaboración propia.*

El elemento de entrada de este algoritmo es la matriz de distancias de punto a punto, ver anexo 1, 2 y 3 para detalle.

3. Actividad III.

A continuación, se detalla el proceso de implementación del algoritmo genético para ruteo (Orrego, Ospina & Toro, 2016).

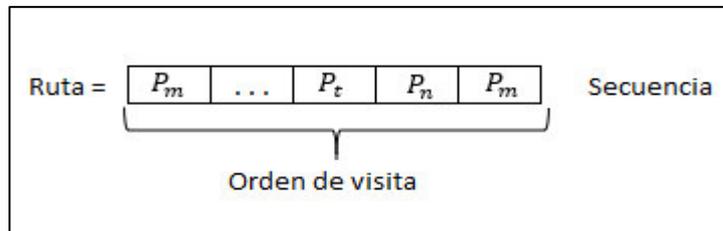
Codificación

Cada arreglo representa una solución factible del recorrido del vehículo (camión recolector) para el cluster $i = 1, 2, \dots, n$, en esta aplicación se trabajó con 2 cluster. Cada elemento "gen" del arreglo representa el orden en que los destinos (puntos de acopio) son visitados y el tamaño de cada

posible solución n_i depende del número de clientes (puntos de acopio), se esquematiza (ver figura 11).

Figura 11

Diagrama de codificación, algoritmo genético



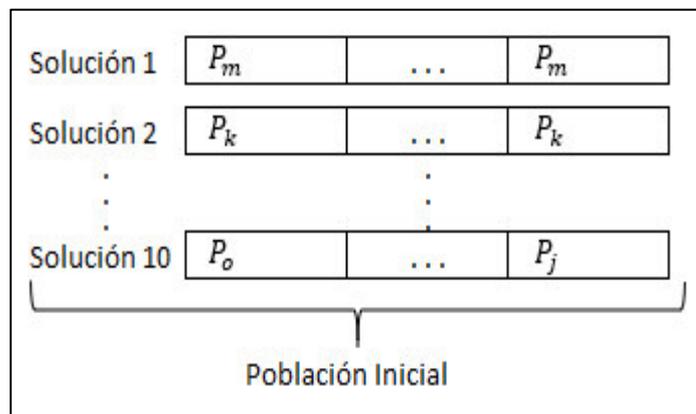
Nota. Fuente: *Elaboración propia.*

Población Inicial

Para esta aplicación se ha utilizado 10 soluciones factibles, estas forman la población inicial del algoritmo genético, A continuación, se esquematiza (ver figura 12).

Figura 12

Diagrama de población, algoritmo genético



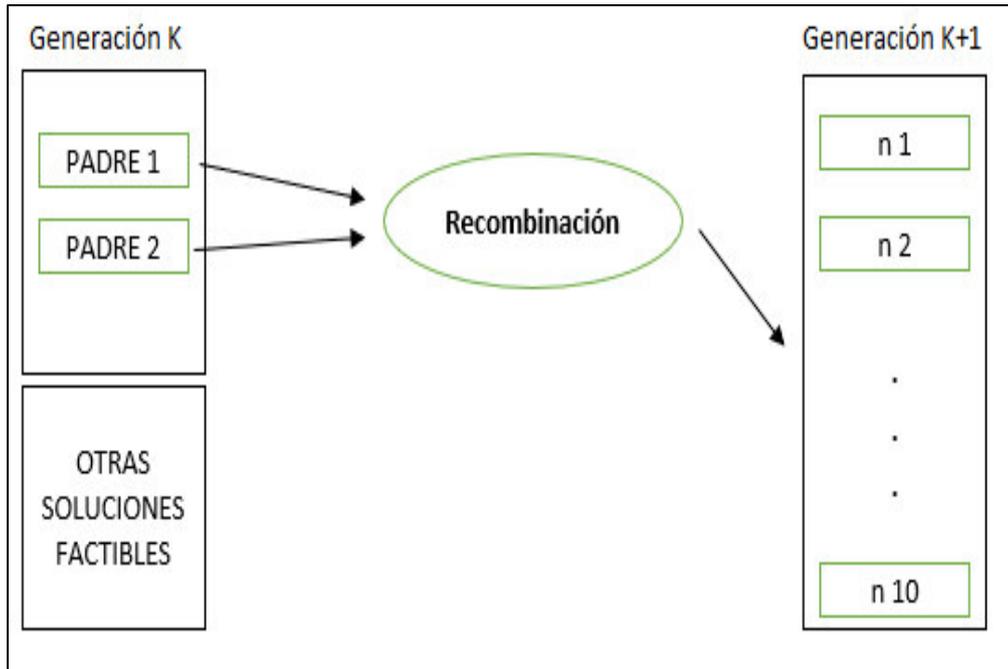
Nota. Fuente: *Elaboración propia.*

Selección y Recombinación

(Ver figura 13), se puede observar de forma esquematizada el proceso de selección, en donde la población inicial es dividida en 2 subgrupos, estos grupos son P y S – P, siendo P un subgrupo de individuos con mejor función fitness y S la población inicial. Para esta aplicación se ha utilizado un subgrupo $P = 2$, donde estas 2 mejores soluciones intercambiarán material genético para dar paso a una nueva generación.

Figura 13

Diagrama de selección, algoritmo genético

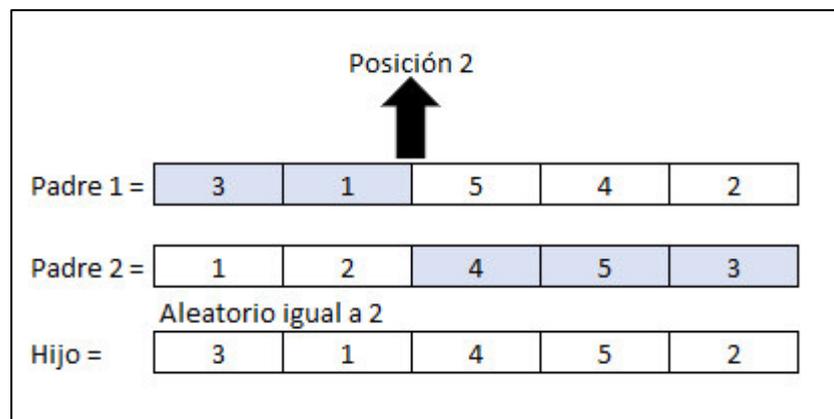


Nota. Fuente: *Elaboración propia.*

La recombinación está basada en el cálculo de una posición aleatoria, este nuevo individuo creado tiene parte del componente genético del padre 1 y del padre 2, cabe resaltar que existe un parámetro de recombinación $p_o=0.9$ que representa la probabilidad con la que se dará una recombinación (ver figura 14).

Figura 14

Diagrama de recombinación, algoritmo genético



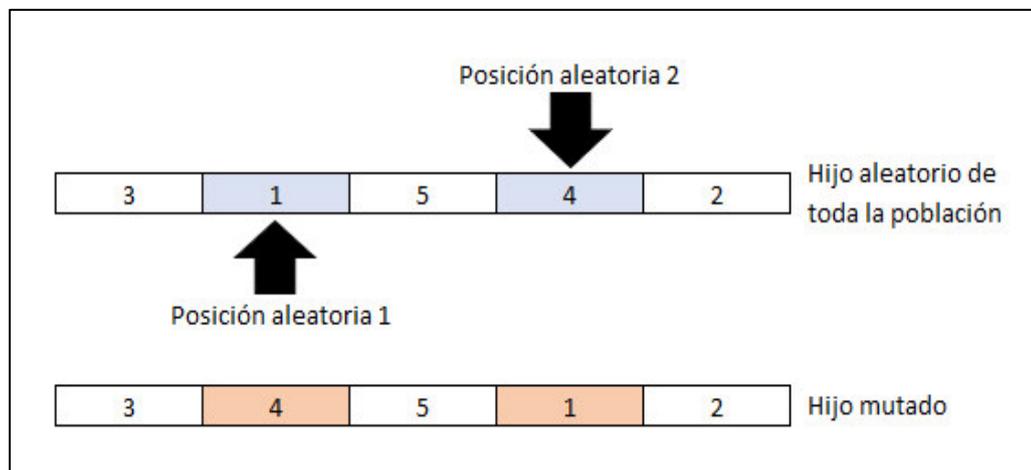
Nota. Fuente: *Elaboración propia.*

Mutación

En algunas iteraciones basadas en un parámetro de mutación $k_o=0.05$, después del proceso de recombinación se realiza un proceso de mutación simple, esta mutación es un intercambio de posición o swap de dos elementos aleatorios de un cromosoma (solución factible) que también es elegido aleatoriamente de la población inicial. Este proceso es utilizado como un mecanismo de perturbación, cuya finalidad es explorar mejor el espacio de soluciones y escapar de óptimos locales (ver figura 15).

Figura 15

Diagrama de mutación, algoritmo genético



Nota. Fuente: *Elaboración propia.*

Modificación de la población

En esta sección solo se cambia a un individuo de la población inicial en cada iteración, el individuo con peor función fitness será reemplazado por el nuevo individuo, solo cuando este sea de mejor calidad.

CAPITULO IV – RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos luego de haber escogido estratégicamente los puntos de acopio de residuos sólidos y estos fueron recorridos por los camiones recolectores.

Estos puntos, han sido ruteados por los camiones recolectores de residuos sólidos utilizando el algoritmo genético para ruteo.

Debido a que se dispone de 2 camiones recolectores de residuos sólidos, con capacidad de 25 y 30 toneladas, estos puntos serán clusterizados convenientemente según la capacidad de los camiones (ver figura 16).

Figura 16

Clusters separados estratégicamente



Nota. Fuente: *Elaboración propia.*

El camión de capacidad de 30 toneladas, visitara los 90 puntos de acopio que pertenecen a la primera y segunda zona (puntos naranjas) estos puntos se muestran en la imagen a continuación (Ver figura 17).

Figura 17

Puntos a ser ruteados por el camión de 30 toneladas



Nota. Fuente: *Elaboración propia.*

El camión de capacidad de 25 toneladas, visitara los 86 puntos de acopio que pertenecen a la tercera y cuarta zona, se muestran en la siguiente imagen (Ver figura 18).

Figura 18

Puntos a ser ruteados por el camión de 25 toneladas



Nota. Fuente: *Elaboración propia.*

Se ha tomado como referencia un punto de inicio y fin, pero este punto de inicio puede variar según se especifique.

A continuación, se presentan los puntos a visitar y el orden en el que deben ser visitados los puntos de acopio, de tal manera que se tenga una distancia total de ruteo mínima factible, debido a la clasificación del problema es improbable la

obtención de un óptimo, pero este algoritmo usado asegura una solución bastante buena en comparación con otras posibles.

Camión recolector de 25 toneladas

{'Punto1'} {'Punto47'} {'Punto79'} {'Punto72'} {'Punto84'} {'Punto74'}
{'Punto75'} {'Punto64'} {'Punto40'} {'Punto27'} {'Punto30'} {'Punto71'}
{'Punto16'} {'Punto2'} {'Punto5'} {'Punto70'} {'Punto20'} {'Punto63'}
{'Punto48'} {'Punto10'} {'Punto8'} {'Punto80'} {'Punto81'} {'Punto69'}
{'Punto31'} {'Punto25'} {'Punto41'} {'Punto54'} {'Punto86'} {'Punto4'}
{'Punto12'} {'Punto24'} {'Punto35'} {'Punto28'} {'Punto51'} {'Punto49'}
{'Punto60'} {'Punto77'} {'Punto3'} {'Punto83'} {'Punto78'} {'Punto67'}
{'Punto85'} {'Punto57'} {'Punto58'} {'Punto82'} {'Punto76'} {'Punto45'}
{'Punto50'} {'Punto61'} {'Punto38'} {'Punto34'} {'Punto15'} {'Punto37'}
{'Punto52'} {'Punto56'} {'Punto26'} {'Punto21'} {'Punto7'} {'Punto22'}
{'Punto53'} {'Punto42'} {'Punto36'} {'Punto44'} {'Punto32'} {'Punto23'}
{'Punto33'} {'Punto13'} {'Punto9'} {'Punto18'} {'Punto19'} {'Punto29'}
{'Punto6'} {'Punto39'} {'Punto68'} {'Punto73'} {'Punto55'} {'Punto46'}
{'Punto11'} {'Punto65'} {'Punto66'} {'Punto14'} {'Punto17'} {'Punto43'}
{'Punto62'} {'Punto59'} {'Punto1'}.

Este camión realiza un recorrido total de 27661 metros.

Camión recolector de 30 toneladas

{'Posicion1'} {'Posicion32'} {'Posicion23'} {'Posicion24'} {'Posicion36'}
{'Posicion67'} {'Posicion63'} {'Posicion89'} {'Posicion33'} {'Posicion73'}
{'Posicion71'} {'Posicion87'} {'Posicion41'} {'Posicion21'} {'Posicion40'}
{'Posicion43'} {'Posicion19'} {'Posicion68'} {'Posicion90'} {'Posicion85'}
{'Posicion88'} {'Posicion47'} {'Posicion82'} {'Posicion80'} {'Posicion13'}
{'Posicion29'} {'Posicion7'} {'Posicion20'} {'Posicion16'} {'Posicion25'}
{'Posicion49'} {'Posicion54'} {'Posicion60'} {'Posicion42'} {'Posicion50'}
{'Posicion59'} {'Posicion4'} {'Posicion53'} {'Posicion70'} {'Posicion69'}
{'Posicion52'} {'Posicion55'} {'Posicion86'} {'Posicion79'} {'Posicion11'}
{'Posicion9'} {'Posicion10'} {'Posicion3'} {'Posicion2'} {'Posicion58'}
{'Posicion51'} {'Posicion81'} {'Posicion64'} {'Posicion12'} {'Posicion17'}
{'Posicion18'} {'Posicion34'} {'Posicion8'} {'Posicion5'} {'Posicion84'}
{'Posicion62'} {'Posicion78'} {'Posicion74'} {'Posicion72'} {'Posicion57'}

{'Posicion77'} {'Posicion61'} {'Posicion56'} {'Posicion65'} {'Posicion30'}
{'Posicion38'} {'Posicion35'} {'Posicion22'} {'Posicion28'} {'Posicion27'}
{'Posicion45'} {'Posicion14'} {'Posicion75'} {'Posicion66'} {'Posicion15'}
{'Posicion76'} {'Posicion48'} {'Posicion83'} {'Posicion6'} {'Posicion37'}
{'Posicion31'} {'Posicion39'} {'Posicion26'} {'Posicion44'} {'Posicion46'}
{'Posicion1'}.

Este camión realiza un recorrido total de 42529 metros.

CAPITULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se logró ubicar los puntos de acopio de residuos sólidos domiciliarios.
- Se logró realizar el ruteo de los 2 camiones recolectores, teniendo en cuenta que el punto de inicio quede a criterio del usuario.
- Se recomienda replicar este trabajo de investigación para los otros ejes zonales.
- De otra manera, se podría realizar una variante y en lugar de localizar puntos de acopio, se podría localizar contenedores de residuos sólidos.
- Para mejorar la aproximación al óptimo en la búsqueda del recorrido mínimo, se podría utilizar una metaheurística para generar la población inicial.

CAPITULO VI – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alva, T., & Leandro, S. (2015). Mejoras en el desempeño ambiental y la aplicación de algoritmos de ruteo de vehículos en una empresa distribuidora de residuos sólidos orgánicos. *Pontificia Universidad Católica del Perú*.

Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6141>

Applegate, D. L., Bixby, R. E., Chvátal, V., & Cook, W. J. (2007). *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study* (2nd Printing edition). Princeton: Princeton University Press.

Cap08.pdf. (s. f.). Recuperado de

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1197/cap08.pdf

Cardozo, J. P. O., Toro, D. O., & Ocampo, E. M. T. (2016). Solución al Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidad Limitada (CVRP) usando una técnica metaheurística. *Scientia et Technica*, 21(3), 225-233.

<https://doi.org/10.22517/23447214.9013>

Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Oper. Res.*, 12(4), 568–581.

<https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>

Cortéz, A. (2004). *TEORÍA DE LA COMPLEJIDAD COMPUTACIONAL Y TEORÍA DE LA COMPUTABILIDAD*. 4.

Daza, J. M., Montoya, J. R., & Narducci, F. (2013). RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE ENRUTAMIENTO DE VEHÍCULOS CON LIMITACIONES DE CAPACIDAD UTILIZANDO UN PROCEDIMIENTO METAHEURÍSTICO DE DOS FASES (SOLVING THE CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM USING A TWOPHASE METAHEURISTIC PROCEDURE). *Revista EIA*, 6(12), 23-38. <https://doi.org/10.24050/reia.v6i12.218>

ESSALUD. (s. f.). Recuperado 7 de julio de 2019, de

<http://www.essalud.gob.pe/transparencia/>

Gallego, R., Escobar, A., & Toro, E. (2008). Técnicas metaheurísticas de optimización. *Pereira: Textos Universitarios Universidad Tecnológica de Pereira*.

Municipalidad de Independencia. (2021). *Gerencia de Gestión Ambiental*. Obtenido de <https://www.muniindependencia.gob.pe/sgma/>

- Hale, T. S., & Moberg, C. R. (2003). Location Science Research: A Review. *Annals of Operations Research*, 123(1), 21-35.
<https://doi.org/10.1023/A:1026110926707>
- Jaramillo-Posada, J. R. (2012). Búsqueda tabú para el ruteo de vehículos. *Ingeniería Industrial*, 0(030), 29. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2012.n030.212>
- López, E., Salas, O., & Murillo, A. (2014). El problema del agente viajero: Un algoritmo determinístico usando búsqueda tabú. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 21(1), 127-144.
- Maldonado, C. E. (2013). *Un problema fundamental en la investigación: Los problemas P vs. NP*. 4(2), 12.
- Martínez, R. H. A. e, & Suazo, R. J. M. (2005). La decisión de localización en la cadena de suministro. *Revista Ingeniería Industrial*, (1), 57-67.
- Méndez, A., Pontin, M., & Ziletti, M. (2005). *HEURISTICAS PARA LA RESOLUCIÓN DE UN PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS PERIÓDICO REAL*. 11.
- MINISTERIO DE SALUD. (s. f.). Recuperado 1 de diciembre de 2019, de <http://www.minsa.gob.pe/estadisticas/estadisticas/poblacion/POBLACIONMarcos.asp>
- Ministerio del Ambiente—MINAM. (s. f.). Recuperado 6 de julio de 2019, de <https://www.gob.pe/minam>
- Municipalidad de Independencia. (s. f.). Recuperado 3 de noviembre de 2019, de <https://www.muniindependencia.gob.pe/distrito.php?sec=4>
- Orea, D. G. (2002). *Evaluación de impacto ambiental: Un instrumento preventivo para la gestión ambiental*. Mundi-Prensa Libros.
- Orea, D. G., & Villarino, M. T. G. (2013). *Evaluación de impacto ambiental*. Mundi-Prensa Libros.
- Pizzolato, N. D., Raupp, F. M. P., & Alzamora, G. S. (2012). REVISÃO DE DESAFIOS APLICADOS EM LOCALIZAÇÃO COM BASE EM MODELOS DA p-MEDIANA E SUAS VARIANTES. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, 4(1), 13-42.
- Prawda, J. (1980). Métodos y modelos de Investigación de operaciones Vol. 2. *Ciudad de México: Editora Limusa*.

Restrepo, J. H., V, P. D. M., & T, E. A. C. (2008). Un Problema Logístico De Programación De Vehículos Con Ventanas De Tiempo (vrptw). *Scientia Et Technica*, XIV(39), 229-234.

Suarez, O. (2013). Una aproximación a la heurística y metaheurísticas.

INGE@UAN - Tendencias en la Ingeniería, 1(2). Recuperado de <http://revistas.uan.edu.co/index.php/ingean/article/view/198>

T, E. A. C., Restrepo, J. H., & V, P. D. M. (2007). Un problema logístico de ruteo de vehículos y una solución con solver de excel: Un caso de estudio.

Scientia et technica, 1(37). <https://doi.org/10.22517/23447214.4121>

Juan Pablo O, D.O.T, E.M.T. *Solución al problema de Ruteo de vehículos con capacidad limitada (CVRP) usando una técnica metaheurística.*

Vargas, G. G. (s. f.). *Metaheurísticas aplicadas al ruteo de vehículos. Un caso de estudio. Parte 1: Formulación del problema.* 9.

Zhang, Y., & Chen, X. D. (2014). An Optimization Model for the Vehicle Routing Problem in Multi-product Frozen Food Delivery. *Journal of Applied Research and Technology*, 12(2), 239-250. [https://doi.org/10.1016/S1665-6423\(14\)72340-](https://doi.org/10.1016/S1665-6423(14)72340-5)

5