



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E
INFORMÁTICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E
INFORMÁTICA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS A
NIVEL PREGRADO 2014



Mejoramiento del sistema de ruteo vehicular en la recolección de basura en el distrito de Morales, aplicando un algoritmo metaheurístico.

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Sistemas e Informática

AUTOR:

Gustavo Eduardo Ríos Quevedo

ASESOR:

Ing. M. Sc. Pedro Antonio Gonzales Sánchez

Tarapoto – Perú

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E
INFORMÁTICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E
INFORMÁTICA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS A
NIVEL PREGRADO 2014



Mejoramiento del sistema de ruteo vehicular en la recolección de basura en el distrito de Morales, aplicando un algoritmo metaheurístico

AUTOR:

Gustavo Eduardo Ríos Quevedo

Sustentada y aprobada el 22 de abril del 2022, ante el honorable jurado:

.....
Lic. Dr. Carlos Rodríguez Grández
Presidente

.....
Ing. M. Sc. Jorge Damián Valverde
Iparraguirre
Secretario

.....
Ing. Mtro. Cristian Werner García Estrella
Vocal

Declaratoria de autenticidad

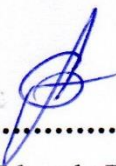
Yo, **Gustavo Eduardo Rios Quevedo**, identificado con DNI N° **46367869** de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas e Informática, autor de la tesis que lleva como título: **“Mejoramiento del sistema de ruteo vehicular en la recolección de basura en el distrito de Morales, aplicando un algoritmo metaheurístico”**.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por lo tanto, la investigación debe considerarse como parte de la realidad investigada.

Por lo antes mencionado asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 22 de abril del 2022.



.....
Gustavo Eduardo Rios Quevedo

DNI N° 46367869



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: Rios Quevedo Gustavo Eduardo	
Código de alumno : 097167	Teléfono: 985116690
Correo electrónico : gerquevedo@unsm.edu.pe	DNI: 46367869

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: Ingeniería de Sistemas e Informática
Escuela Profesional de: Ingeniería de Sistemas e Informática

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título : Mejoramiento del sistema de ruteo vehicular en la recolección de basura en el distrito de Morales, aplicando un algoritmo metaheurístico
Año de publicación: 2022

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

--

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **“Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”**.


.....
Firma del Autor



8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

05 / 07 / 2022


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología
e Innovación de Acceso Abierto - UNSM


.....
Ing. Grecia Vanessa Fachin Ruiz
Responsable

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a:

A mi querida hija Arya Raphaella que es muy probable que en este momento no entiendas totalmente mis palabras, pero cuando seas capaz, quiero que te des cuenta de lo que significas para mí. Eres la razón de que me levante cada día para esforzarme por el presente y futuro, eres mi principal motivación.

A mi compañera de vida, Thalía Tello, tu ayuda ha sido fundamental, has estado conmigo incluso en los momentos más complicados, Este proyecto no fue fácil, pero estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances los permitían, te lo agradezco muchísimo amor por acompañarme en todos mis sueños y metas.

A mis padres Gustavo y Milagro quienes con su ejemplo de amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y perseverancia, de no temer las adversidades, superarlas y nunca darse por vencido.

Hermana Mayra por tu cariño y apoyo incondicional, aunque ahora nos encontremos alejados, te guardo mucho aprecio y consideración. Y a ti hermano Rodrigo que eres mi mayor inspiración de fortaleza, muchas gracias por darme con tu ejemplo de vida una gran lección de lucha y no darse por vencido.

Agradecimientos

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal de la Municipalidad Distrital de Morales, por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso de investigación dentro del recinto municipal.

De igual manera, mi agradecimiento a mi alma mater, Universidad Nacional de San Martín, a la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, a mis docentes gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación y apoyo incondicional en mi formación profesional.

Finalmente quiero expresar mi sincero agradecimiento al Ing. M. Sc. Pedro Antonio Gonzales Sánchez, principal colaborador y asesor durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento y enseñanza permitió el desarrollo de esta investigación.

Índice general

Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos.....	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xi
Resumen.....	xiii
Abstract.....	xiv
Introducción.....	1
CAPÍTULO I.....	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1 Antecedentes de la investigación.....	3
1.1.1 Internacionales.....	3
1.1.2 Nacionales.....	5
1.1.3 Locales.....	7
1.2 Bases teóricas.....	10
1.3 Definición de términos básicos.....	25
CAPÍTULO II.....	29
MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
2.1 Tipo y nivel de investigación.....	29
2.2 Diseño de la investigación.....	29
2.3 Población y muestra.....	30
2.3.1 Población.....	30
2.3.2 Muestra/ muestreo.....	32

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	33
2.4.1 Técnicas.....	33
2.4.2 Instrumentos	33
CAPÍTULO III	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
3.1 Diagnostico de la problemática observación directa	34
3.2 Resultado de la encuesta aplicada a los habitantes	37
3.3 Resultado de la encuesta aplicada al personal	45
3.4 Contratación de la hipótesis	57
3.5 Discusión de los resultados.....	59
3.4 Propuesta de mejora.....	64
CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ANEXOS	98

Índice de tablas

Tabla 1. Diseño pretest pos-test de un solo grupo	30
Tabla 2. Dimensión: Generación de residuos sólidos.....	37
Tabla 3. Dimensión: Almacenamiento de residuos sólidos.....	38
Tabla 4. Dimensión: Recolección de residuos sólidos	39
Tabla 5. Dimensión: Disposición final de los residuos sólidos	40
Tabla 6. Dimensión: Manejo de Desechos Sólidos Domiciliarios	41
Tabla 7. Dimensión: Ambiental.....	42
Tabla 8. Dimensión: Social	43
Tabla 9. Dimensión: Económica	44
Tabla 10. ¿Disponen de planos del Distrito?.....	45
Tabla 11. ¿Poseen Diagramas del Recojo de Residuos Sólidos del Distrito?	46
Tabla 12. ¿Disponen de Planos de Sectorización?	47
Tabla 13. ¿Poseen manuales de procedimientos para el Recojo de Residuos Sólidos?	48
Tabla 14. ¿Controlan el registro de producción del servicio por día?.....	49
Tabla 15. ¿Llevan un registro de la disponibilidad de las unidades recolectoras?	50
Tabla 16. ¿Se introduce constantemente la tecnología para mejorar las operaciones?	51
Tabla 17. ¿Usan algoritmos u otros sistemas para optimizar el proceso de recojo?	52
Tabla 18. ¿Se preocupan por mejorar el ruteo de recolección de residuos?.....	53
Tabla 19. ¿En la actualidad se requiere de algoritmos para optimizar los procesos?.....	54
Tabla 20. ¿Tiene conocimiento del uso de los algoritmos?.....	55
Tabla 21. ¿Disponen de los equipos necesarios para la introducción de algoritmos u otros sistemas tecnológicos?.....	56
Tabla 22. Contrastación de la hipótesis – Prueba estadística	57

Índice de figuras

Figura 1. Población del Distrito de Morales	31
Figura 2. Cantidad de días que demoran en llenar el recipiente	35
Figura 3. Recojo semanal de los residuos.....	36
Figura 4. Tipo de vehículo recolector.....	36
Figura 5. Dimensión: Generación de residuos sólidos	37
Figura 6. Dimensión: Almacenamiento de residuos sólidos	38
Figura 7. Dimensión: Recolección de residuos sólidos	39
Figura 8. Dimensión: Disposición final de los residuos sólidos.....	40
Figura 9. Dimensión: Manejo de Desechos Sólidos Domiciliarios.....	41
Figura 10. Dimensión: Ambiental	42
Figura 11. Dimensión: Social	43
Figura 12. Dimensión: Económica	44
Figura 13. 1.- ¿Disponen de planos del Distrito?	45
Figura 14. 2.- ¿Poseen Diagramas del Recojo de Residuos Sólidos del Distrito?	46
Figura 15. 3.- ¿Disponen de Planos de Sectorización?.....	47
Figura 16. 4.- ¿Poseen manuales de procedimientos para el Recojo de Residuos Sólidos?.....	48
Figura 17. 5.- ¿Controlan el registro de producción del servicio por día?	49
Figura 18. 6.- ¿Llevan un registro de la disponibilidad de las unidades recolectoras?	50
Figura 19. 7.- ¿Se introduce constantemente la tecnología para mejorar las operaciones?	51
Figura 20. 8.- ¿Usan algoritmos u otros sistemas para optimizar el proceso de recojo?.....	52
Figura 21. 9.- ¿Se preocupan por mejorar el ruteo de recolección de residuos?.....	53
Figura 22. 10.- ¿En la actualidad se requiere de algoritmos para optimizar los procesos?.....	54
Figura 23. 11.- ¿Tiene conocimiento del uso de los algoritmos?.....	55
Figura 24. 12.- ¿Disponen de los equipos necesarios para la introducción de algoritmos u otros sistemas tecnológicos?.....	56
Figura 25. Representación gráfica de la prueba estadística.....	58
Figura 26. Distancia recorrida antes y después de la aplicación del algoritmo metaheurístico.....	58
Figura 27. Horas de Trabajo diaria en el proceso de recolección.....	59
Figura 28. Árbol de problemas	64
Figura 29. Árbol de soluciones.....	65
Figura 30. Preparación de la unidad para el recorrido.....	71

Figura 31. Preparación de la unidad para el recorrido.....	71
Figura 32. Inicio del recorrido por parte del investigador.....	72
Figura 33. Mapeamiento de la ruta.....	72
Figura 34. Mapeamiento de la ruta.....	73
Figura 35. Mapeamiento de la ruta.....	73
Figura 36. Mapeamiento de la ruta.....	74
Figura 37. Preparación del algoritmo.....	74
Figura 38. Inicio de sesión.....	75
Figura 39. Registro.....	75
Figura 40. Acceso.....	76
Figura 41. Acceso.....	76
Figura 42. Perfiles.....	77
Figura 43. Configuración de la cuenta.....	77
Figura 44. Página principal.....	78
Figura 45. Perfil generado.....	78
Figura 46. Acceso al sistema.....	79
Figura 47. Acceso al sistema.....	79
Figura 48. Mapeamiento.....	80
Figura 49. Asignación del vehículo.....	80
Figura 50. Recuperación de contraseña.....	81
Figura 51. Acceso.....	81
Figura 52. Generación de las rutas.....	82
Figura 53. Reporte y registros.....	82
Figura 54. Reporte y registros de rutas.....	83
Figura 55. Recojo de residuos con ruta establecida.....	83
Figura 56. Recojo de residuos con ruta establecida.....	84
Figura 57. Recojo de residuos con ruta establecida.....	84
Figura 58. Recojo de residuos con ruta establecida.....	85
Figura 59. Recojo de residuos con ruta establecida.....	85
Figura 60. Recojo de residuos con ruta establecida.....	86
Figura 61. Recojo de residuos con ruta establecida.....	86
Figura 62. Recojo de residuos con ruta establecida.....	87
Figura 63. Disposición final.....	87
Figura 64. Retorno del vehículo.....	88

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo central mejorar el sistema de ruteo vehicular en la recolección de basura del Distrito de Morales mediante la aplicación de un Algoritmo Metaheurístico. La metodología utilizada fue investigación del tipo aplicada, a un nivel de investigación experimental, la investigación es del tipo de diseño pretest pos-test de un solo grupo, que se encuentran ubicado dentro del diseño preexperimental. Se aplicó la técnica de la encuesta y la observación directa, además de la revisión bibliográfica. La población objeto de estudio fueron los habitantes del Distrito de Morales y el personal del área de Gestión Ambiental de la Municipalidad Distrital de Morales, conformada por 12 personas, es la unidad encargada de la gestión de residuos sólidos. Los resultados se procesaron a través del Software SPSS. Como resultado se obtuvo la deficiente gestión de los desechos sólidos domiciliarios por parte de la Municipalidad. Concluyendo, para dar respuesta al problema se diseñó una propuesta basada en un algoritmo metaheurístico, que, al ser aplicado, generó de manera eficiente y eficaz una ruta de recojo, donde se observó ahorro en los tiempos, mejoró el horario de trabajo en el área de Gestión Ambiental de la Municipalidad Distrital de Morales, así como el ahorro del combustible que regularmente se gastaba en los ruteos anteriores.

Palabras claves: Mejora, sistema, ruteo vehicular, recolección de basura, Distrito de Morales, Algoritmo Metaheurístico.

Abstract

The main objective of this study was to improve the vehicular routing system for garbage collection of the District of Morales through the application of a Metaheuristic Algorithm. The methodology used was applied research, at an experimental research level, the research is of the pretest-post-test design type of a single group, which is located within the pre-experimental design. The survey technique and direct observation were applied, in addition to the bibliographic review. The target population was the residents of the District of Morales and the staff of the Environmental Management area of the District Municipality of Morales, consisting of 12 people, which is the unit in charge of solid waste management. The results were processed using SPSS software. The result was the deficient management of household solid waste by the Municipality. In conclusion, in response to the problem, a proposal was designed based on a metaheuristic algorithm, which, once applied, efficiently and effectively generated a collection route, where time savings were observed, and improved the work schedule of the Environmental Management area of the District Municipality of Morales, as well as saving the fuel that was regularly used in the previous routes.

Keywords: Improvement, system, vehicle routing, garbage collection, Morales District, Metaheuristic Algorithm.



Introducción

Los Residuos domiciliarios son aquellos que se producen por las actividades domésticas y se generan de acuerdo con el nivel de ingreso en el domicilio, a las costumbres de consumo y estilos de vida, entre ellos, latas, periódicos, pañales usados, cartón, botellas y otros de índole similar (Blazquez & Paredes, 2020). según Consumer (2018), es un material ocasionado por el ser humano en estado sólido, resultante de su cotidianidad diaria, los cuales, a diferencia de los líquidos y gaseosos, ocupan una mayor cantidad de espacio, además de permanecer por una cantidad de tiempo considerable, desde años hasta siglos, en el terreno donde se encuentren, por lo que, presentan dos tipos de clasificación, residuos aprovechables y no aprovechables.

Según Becerra y Alvarado (2018), al diseñar un plano se debe tener una visión integral en cual contemple como características el ser técnico, que sea fácil de utilizar, de operar y de actualizar, además debe ser social, fomentando así hábitos positivos, económico, cuyos costos sean acordes a lo disponible por la población, organizativo, que su administración y gestión sea dinámica y que contemple la preservación de salud, en la que se visualice la prevención de impactos sustanciales en el suelo, agua y aire. Se pueden establecer dos pasos a seguir al diseñar un plano, según Grajales, Hincapié y Montoya (2018) el primero consiste en realizar un proyecto de gabinete, en el cual, se calcula las necesidades y se asignan las áreas a los camiones y el segundo llamado ajuste de campo, consistente en analizar las actividades asignadas para balancearlas y nivelar el trabajo de manera equitativa a las cuadrillas existentes.

Es preciso aclarar, lo expuesto por Guasmayan (2018), quien indica que la eficiencia en la recolección de residuos no está determinada por la cantidad de viajes que realice un vehículo, no es relativa a un mayor número de viajes, por el contrario, de ese modo las unidades se desgastarán rápidamente, la idea central es analizar y establecer un adecuado control de rutas y evitar cargas adicionales no consideradas a tiempo. Por lo tanto, en el diseño de rutas se debe primero sectorizar, es decir, dividir la ciudad en sectores asignándoles a cada uno un equipo de recolección de manera equitativa y explotando toda su capacidad, pudiendo ser divididos en subsectores, luego se establecen los límites de los sectores guiados con el mapa de la ciudad, evitando barreras que hacen perder tiempo, posteriormente se procede a realizar un diagrama en el que se observa la ruta de recorrido de cada subsector.

De acuerdo con las ideas anteriores, se formula el propósito del presente estudio, centrado en el Mejoramiento del sistema de ruteo vehicular en la recolección de basura en el distrito de Morales, aplicando un algoritmo metaheurístico. Para ello, se estructuró el estudio de la siguiente manera:

Capítulo I: REVISIÓN BIBLIOGRAFICA, compuesto por el compendio de diversos autores que fundamentan el presente estudio, se indicó antecedentes en el ámbito internacional, para determinar qué soluciones han empleado otros países al respecto. Luego, se situaron antecedentes nacionales, que permitieron determinar el grado de estudio que tiene el tema en el país, para finalmente presentar un plano local que indique las soluciones ofertadas por los estudios de la Provincia San Martín. Seguidamente, se presentan las bases teóricas y la definición de los conceptos más importantes que conforman las palabras claves.

Capítulo II: MATERIALES Y MÉTODOS, en este apartado se presentó todo el trayecto metodológico que orienta la direccionalidad de la investigación.

Capítulo III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN, en este capítulo se presenta el diagnóstico que permitió enfocar el problema del estudio desde el contexto real, con información proveniente de las fuentes primarias. Lo que permitió generar el árbol de soluciones, del cual se desprende el algoritmo utilizado, el cual se aplicó en una fase experimental para evaluar los resultados de este, concluyendo que con el algoritmo se le dio respuesta inmediata al problema, mejorándolo en un 90%, el 10% restante queda pendiente en lo que es la actualización y capacitación constante del personal que maneja estos sistemas computarizados para asegurar la permanencia e introducción constante de nuevas tecnologías a la Municipalidad.

Capítulo IV: CONCLUSIONES, en este apartado la investigación confirma la efectividad del algoritmo aplicado, dando razón a la solución del problema inicialmente planteado.

Capítulo V: RECOMENDACIONES, en este apartado se generan recomendaciones a los diferentes actores que conforman el contexto del presente estudio, desde un abordaje externo, que abarca no solo a la Municipalidad, también a otras instituciones públicas y privadas.

Finalmente, se presentan las referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Antecedentes de la investigación

1.1.1 Internacionales

Raggio (2021) ejecutó un estudio titulado: *“Un modelo y método metaheurístico, considerando elementos estocásticos para la recolección de residuos electrónicos en ciudades”*, desarrollado en la ciudad de Concepción, Chile, en la cual se abordó como objetivo general identificar, evaluar y diseñar un modelo que optimice, mediante la aplicación de métodos metaheurísticos, el proceso transporte y recolección de residuos electrónicos, con el propósito de reducir los costos por recolección y por emisiones de los vehículos. La metodología empleada fue no exploratoria, descriptiva y cualitativa, en la que se obtuvo como resultado una propuesta de la implementación del modelo Iterated Local Search y Simulated Annealing, el cual presenta dos enfoques, el primero consiste en la evaluación de la capacidad de los vehículos en términos de restricciones y el segundo igualmente verifica la capacidad pero en muestreo aleatorio, en la comparación de ambos se halló que ambos presentan soluciones estadísticamente iguales y respecto a los costos estos se aumentan a medida que se consideran mayores probabilidades de recolección. En consecuencia, concluyó que los métodos metaheurísticos planteados resultan tan efectivos como un método exacto, sobre todo cuando se tiene prontitud en obtener resultados destinados a la obtención de optimización de rutas de recolección de residuos electrónicos.

Fermani, Rossit y Toncovich (2019) plasmó un estudio de título: *“Un estudio comparativo de algoritmos metaheurísticos sobre instancias reales de problemas de recolección de RSU”*, llevado a cabo en la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. El objetivo general estuvo enfocado en analizar, evaluar y proponer la mejor herramienta informática, realizando un estudio comparativo entre las exactas y metaheurísticas, con base a la realidad problemática relativa a la gestión de la recolección de residuos sólidos como actividad compleja que enfrentan las municipalidades, en la búsqueda de optimizar la eficiencia del sistema y reducir los costos. La metodología empleada fue de tipo documental, descriptiva, experimental, mientras que como resultado se obtuvo, la herramienta CPLEX reflejó ser

inadecuada cuando se buscan soluciones de amplios escenarios, en tanto, los algoritmos metaheurísticos basados en el recocido simulado y el Large Neighborhood Search, demostraron ser competitivas, debido a que arrojaron variables cercanos a los métodos exactos con una inversión de tiempo en cómputo inferior, a partir de ello, concluyeron que la implementación de los algoritmos mencionados ofrecen resultados aceptables y competentes, debido a que presentan una ventaja relativa a la menor inversión de esfuerzo de cómputo necesario para alcanzar la solución eficiente al problema.

Cadena (2018) abordó una investigación titulada: *“Problemas de Optimización en la Gestión Logística de Distribución: Una Revisión de Literatura de la Solución del Problema de Ruteo de Vehículos – VRP”*, se llevó a cabo en la ciudad de Bucaramanga, Colombia y tuvo como objetivo general realizar una revisión de los modelos cuantitativos que han sido empleados para la solución a la distribución logística de las rutas de transporte y recolección de residuos sólidos. La metodología empleada fue de tipo descriptivo, bajo un enfoque cualitativo, en cuanto a los resultados, del estudio de 50 variantes del problema de ruteo vehicular, se obtuvo que los modelos metaheurísticos y las técnicas híbridas, son las herramientas más adecuadas para resolver problemas de transporte de cualquier entorno industrial, las cuales hallan soluciones más allá de los óptimos locales, en un determinado tiempo razonable, además, de que involucran variables que más se aproximan a la realidad problemática de transporte, en consecuencia, concluyó que la gestión de transporte debe estar acompañada de modelos de carácter dinámico, en la cual se utilicen modelos idealizados en las literaturas a los que se les incorpore técnicas de optimización, herramientas hardware y software y todas las personas y necesidades involucradas en el proceso que faciliten la toma de decisiones logísticas y que integre las condiciones actualizadas y elimine la robustez hallada en modelos estándares idealizados, en sí, un modelo que mejor se adapte a la realidad y que facilite la optimización de los procesos.

Soto, Solarte y Muñoz (2018) realizaron un estudio titulado *“Localización del punto óptimo de partida en el problema de ruteo vehicular con capacidad restringida (CVRP)”*, llevado a cabo en la ciudad de Pereira, Colombia; tuvo como objetivo general buscar dos puntos óptimos para los vehículos recolectores de basura, el primero relativo a la ubicación de la flota y el segundo diseñar las rutas adecuadas en las que se minimicen los costos de recolección. Se emplearon dos métodos, la heurística de barrido para el caso de la ubicación de la flota, la cual se considerará como punto de partida y la metaheurística tabú para garantizar el óptimo resultado; se observó como resultado, en la aplicación de los modelos

técnica de barrido y algoritmo tabú, que se minimizó el tiempo y los costos durante los recorridos de los camiones, permitiendo concluir, que la metodología híbrida consistente en la resolución del problema respectivo a la ubicación, ruteo y reducción de costos del traslado y recolección de residuos sólidos, ofrece resultados óptimos y mejores que los que se emplean con anterioridad.

Miniguano (2018) llevó a cabo un estudio en la ciudad de Quito, Ecuador, titulado: *“Algoritmos Matheurísticos para un problema de Planificación de Rutas Vehiculares y Pedestres”*, el cual tuvo como objetivo general plantear la optimización de las rutas existentes y diseñar nuevas rutas pedestres y vehiculares, en la cual, se debe considerar como variables del problema restricciones de capacidad, ventanas de tiempo y uso múltiple de vehículos, que sirvan de apoyo al Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). La metodología empleada fue de tipo documental, descriptiva, experimental, mientras que los resultados obtenidos demostraron que se minimizó en un lapso de 5 días, el 30% de costos vehiculares, la fuerza laboral se reduce en un 40%, permitiendo concluir que las rutas vehiculares y pedestres desarrolladas con algoritmos metaheurísticos se pueden planificar de manera factible, sin pausa y ventanas de tiempo, lo que se traduce en la realización de una planificación con menos inversión de tiempo en días de trabajo.

1.1.2 Nacionales

León y Quispe (2019) realizaron un estudio titulado: *“Mejoramiento del Sistema de Recojo de Residuos Sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018”*, el cual tuvo como objetivo general identificar la mejor estrategia que se pueda implementar para optimizar el sistema de recolección de residuos sólidos en el Distrito mencionado. La metodología empleada fue de tipo aplicada, de nivel descriptiva–propositiva, diseño no experimental–transversal, bajo un enfoque cuantitativo, mientras que, se halló como resultado, que el método que brinda los aportes necesarios para la optimización del sistema, fue la herramienta de programación lineal, la cual permitió determinar que la técnica actual que se ejecuta en el Distrito es inadecuada y desventajosa, debido al alto consumo de galones de petróleo diésel por mes en cuanto a distancia recorrida, así mismo, permitió minimizar el recorrido por mes en 268.288 km, lo que conduce al ahorro de combustible, logrando así minimizar los costos. Por lo tanto, concluyeron que la implementación de la herramienta programación lineal permite realizar la actividad de recolección de residuos sólidos de manera más metódica y organizada, del mismo modo, incrementa el rendimiento mediante el mejoramiento de las rutas, permitiendo así indicar que es factible su aplicación.

Murillo (2018) ejecutó una investigación titulada: “*Modelo de Gestión de Residuos Sólidos basado en Programación Binaria y Simulación para reducir el Lead Time, Caso: Municipalidad de José Luis Bustamante y Rivero*”. Su objetivo general consistió en analizar el modelo de programación binaria y la simulación de sistemas para determinar su efectividad como sistema optimizador de la gestión de recolección de residuos sólidos, cuyo fin general fue reducir el Lead Time, dando garantía de un distrito más limpio. La metodología empleada fue de revisión bibliográfica sistemática, de campo, descriptivo y de análisis documental, en cuanto a los resultados, se obtuvo que el sistema actual presenta deficiencias en la frecuencia de la recolección de residuos, poca capacidad de los contenedores, habitantes poco informados respecto al reciclaje y una cantidad considerable de equipos recolectores inutilizados, debido a ello, se propuso la implementación de la programación binaria basada en el algoritmo del agente viajero, del cual se obtuvo una minimización del 12,55% en la distancia recorrida y reducción de tiempos en un 6% diario, en consecuencia, concluyó que la intención de optimizar el tiempo que transcurre desde el punto de partida de los vehículos recolector hasta la disposición final de los residuos sólidos, mediante el modelo de programación binaria y la simulación de sistemas, se logró de manera factible y eficiente, puesto que, se minimizaron los Lead Time permitiendo así obtener un distrito más limpio.

Correa (2018) en su trabajo, “*Propuesta de mejora del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en el Distrito de Chiclayo para reducir los impactos ambientales*”, se propuso como objetivo general evaluar los modelos de optimización de la recolección de residuos sólidos, con la intención de resolver la problemática de contaminación que enfrenta este Distrito, debido a que casi el 30% de la población se encuentra desatendida, situación que ha ocasionado el nacimiento de nuevos botaderos que ponen en riesgo la salud de los habitantes, del mismo modo, el estudio estuvo centrado en el diseño de nuevas rutas que permitan realizar de manera efectiva, la cobertura total de las zonas. La metodología empleada fue de tipo deductivo, documental no correlacional, mientras que los resultados obtenidos demostraron que el modelo que ofrece una solución óptima a esta problemática es el sistema de información geográfica (SIG), utilizando el software ArcGIS, en cuanto a las zonas desatendidas se propuso la instalación de contenedores soterrados, con ubicación en puntos críticos; en base a ello, concluyó que el sistema empleado permitió minimizar en un 50% los costos de mano de obra y el tiempo empleado en la prestación del servicio, además, este tiempo sobrante pudo ser empleado para la atención de los puntos críticos, que

conlleve a la obtención de beneficios ambientales, así como, reducción de emisiones de CO₂ y ahorros de consumo de combustible.

Flores (2018) en su tesis: *“Modelo heurístico de asignación de rutas para minimizar los costos operativos del Servicio de Transporte de Ruta de la empresa Brandom S.A.C, 2018”*, desarrolló como objetivo general analizar el impacto de la implementación de un modelo heurístico relativo a la optimización del ruteo, sobre los costos operativos del sistema del servicio de transporte de ruta. Metodológicamente tuvo un abordaje de diseño Pre – Experimental, bajo un enfoque cuantitativo. Los resultados hallados demostraron que el método heurístico de asignación de rutas adecuado para reducir los costos es el de algoritmo de los ahorros, del cual se evidenció que se logró minimizar el recorrido en un 25,68%, en un 21,85% los costos fijos de carga por carretera, del mismo modo con los costos variable en un 17,70% y en 10,81% se minimizaron los costos operativos. En consecuencia, concluyó que la implementación del algoritmo de los ahorros impactó de manera positiva sobre los costos operativos del servicio de transporte de ruta, por lo que, es factible.

Vives y Gálvez (2018) desarrollaron un estudio titulado: *“Evaluar los tiempos y movimientos para mejorar el sistema de recolección convencional de residuos sólidos en la ciudad de Bagua, Provincia de Bagua, Departamento de Amazonas – 2017”*, cuyo objetivo general fue identificar un sistema que permita optimizar el proceso de recolección convencional, empleando la técnica de evaluación de tiempos y movimientos. Tuvo un abordaje de método deductivo e investigación de campo, en tanto, se trabajó a razón de la evaluación de datos obtenidos directamente del sitio de estudio. En cuanto a los resultados obtenidos, se observó que las herramientas necesarias para poder evaluar y determinar el método que permita la optimización del servicio fueron: GPS, cronómetro, cámara fotográfica, tableros de mano, lápices, formatos estándar, mapas, las cuales permitieron concluir, la técnica de estudio de tiempos y movimientos es factible cuando se desea mejorar la calidad de los sistemas, debido a que permitió efectuar un análisis crítico de cualidades y cantidades empleadas en la realización de la actividad, útiles para plantear recomendaciones e implementar los lineamientos necesarios para la optimización de la calidad del servicio de recolección de residuos sólidos convencional.

1.1.3 Locales

Ávila y Ramírez (2019) desarrollaron una investigación titulada: *“Optimización de la gestión de las rutas de recojo de residuos sólidos, en el Distrito de Tarapoto, 2017”*, la

cual tuvo como objetivo general analizar la eficiencia del sistema actual de la recolección de residuos sólidos, para proponer un modelo metaheurístico que permita la optimización de dicha gestión. La metodología empleada fue de tipo transversal, con diseño no experimental. En referencia a los resultados, se hallaron deficiencias en la forma del planteamiento de rutas que se ha venido desarrollando, la cual se estructura en base la generación, el almacenamiento, la recolección, el transporte y la disposición final, sin embargo, no se toman en consideración sistemas que permitan la actualización constante, buscando ajustarse a la realidad y brindando información de mayor exactitud, es decir, que optimicen la recolección de los residuos, entre las deficiencias más resaltantes, se halló, equipos recolectores en condiciones inadecuadas, falta de mantenimiento y reparaciones a los vehículos recolectores, zonas abandonadas por la descomposición de los vehículos recolectores, acumulación de residuos en zonas desatendidas, ineficiencia del personal en la participación de la prestación del servicio, debido a ello, concluyó, que la gestión de las rutas de recolección de residuos sólidos presenta baja eficiencia, por ello, se propone la implementación de un modelo metaheurístico basado en tecnologías de información que involucre la actividad de un software de control, monitoreo de rutas, flujo de peso de acumulación y la incorporación de zonas donde existen mayor cantidad de agentes generadores de residuos.

Luna (2018) realizó un estudio titulado: *“Propuesta de un plan para la recolección y transporte de los residuos sólidos generados en la ciudad de Tarapoto – provincia de San Martín, 2017”*, la cual tuvo como objetivo general, analizar la gestión de recolección y transporte de residuos sólidos, con la intención de verificar falencias para proponer un modelo que mejor se acople a las necesidades de la ciudad y que optimice la prestación del servicio. La metodología empleada fue de revisión bibliográfica, de tipo transversal y diseño no experimental, mientras que como resultado se obtuvo, que las principales debilidades en el sistema son, baja disposición de flota de vehículos en cuanto al tamaño de la zona, acumulación de residuos en botaderos provisionales y se está recolectando solo el 89,25 toneladas por día, por lo tanto, concluyó que la optimización de las rutas minimizan los costos, amplían el recorrido y minimiza el tiempo invertido en la recolección, lo que indica que la implementación de un diseño de rutas que aporte el 95% de confianza, cambiará de manera positiva la gestión de recolección y transporte de residuos sólidos.

Lozano (2018) realizó un estudio de título “*Sistemas de gestión basados en métodos de residuos sólidos para mejorar el manejo de desechos domiciliarios en Cuñumbuqui-Lamas-2018*”, en el que se abordó como objetivo general el análisis de la calidad en la prestación del servicio del manejo de desechos, para proponer un diseño de un sistema que permita optimizar la gestión de residuos sólidos, el mismo que contemple métodos de mejora en la localidad. Metodológicamente, se abordó desde un diseño descriptivo propositivo, del tipo no experimental, en tanto, se obtuvo como resultado que el 79% de la población generadora de residuos considera que la gestión integral es regular, un 14% opina que se realiza una buena gestión y el 7% consideran que es mala la gestión, por lo cual, concluyó que la gestión que implica el transporte, recolección, traslado, transferencia y disposición, se lleva a cabo mediante lineamientos y procedimientos de forma regular, esta situación amerita que los entes encargados de tal gestión en la localidad adopten medidas respectivas que permitan aumentar el nivel de calidad y satisfacción en el manejo de desechos domiciliarios, no de urgencia, pero sí de relevancia.

Ushiñahua (2018) abordó una investigación titulada “*Gestión ambiental y su relación con el manejo integral de residuos sólidos en la Municipalidad Provincial de San Martín, 2018*”, en la cual se planteó como objetivo general la evaluación y determinación de la incidencia de la gestión ambiental en el manejo de desechos. La metodología empleada fue de tipo básica con un diseño descriptivo correlacional de corte transversal, mientras, se obtuvo como resultado, que en el caso de la municipalidad Provincial de San Martín se realiza una inadecuada gestión ambiental, observando un nivel de 60%, a su vez, se evaluó el manejo de los desechos para establecer su relación y este se manifiesta con un valor de 64% de manejo inadecuado, por lo tanto, concluyó que sí existe relación y esta es significativa, puesto que, a medida que se realiza una mala gestión ambiental, la calidad de la prestación del servicio, relacionada con el manejo de residuos sólidos, es deficiente, en consecuencia, se lleva a cabo de manera inadecuada.

Cachique (2017) llevó a cabo un estudio titulado “*Caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Caynarachi, Lamas 2016*”, como objetivo general se planteó evaluar e identificar la composición de residuos sólidos de la municipalidad, en consecuencia, se deseó evaluar las características de los residuos producidos, entre ellas, la generación per cápita GPC, la composición, la densidad y la humedad. La metodología empleada fue de campo, corte transversal y diseño descriptivo, en cuanto a los resultados, se obtuvo que la mayoría de la población califican el servicio de

regular a bueno, con una representación del 56%, la GPC de RS domiciliarios fue 0.57 kg.hab-1.día-1, las características de los residuos son: 69.82% de materia orgánica, 4.98% de telas y textiles, 3.79% de plástico duro 3.51% de cartón, 2.77% latas, 2.72% de plástico duro, la densidad de es de 215.15 kg.m-3 y la humedad es de 36%, por lo tanto, concluyó, que se realizó de manera efectiva la caracterización de los residuos sólidos, a partir de allí, se estima que se facilite la gestión y se optimice el proceso, así como, el manejo adecuado de estos en el distrito de Caynarachi.

1.2 Bases teóricas

Residuos Sólidos

Se resalta, primeramente, la definición de la palabra residuo, con la intención de una mejor comprensión, según Celiz (2018) residuo es un material caracterizado por encontrarse en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, resultante por el uso de actividades de índole comercial, de domicilio, de fabricación, etc. Por lo tanto, los residuos provienen de alguien que los abandona o rechaza, una vez que lo consumió y estos a su vez, pueden servir de provecho, mediante un proceso de transformación en otro bien nuevo, listo para su disposición final.

En tanto, un desecho o residuo sólido según Consumer (2018), es un material ocasionado por el ser humano en estado sólido, resultante de su cotidianidad diaria, los cuales, a diferencia de los líquidos y gaseosos, ocupan una mayor cantidad de espacio, además de permanecer por una cantidad de tiempo considerable, desde años hasta siglos, en el terreno donde se encuentren, por lo que, presentan dos tipos de clasificación, residuos aprovechables y no aprovechables.

Para Armendariz, Pachi & Arcos (2018), los residuos sólidos son productos o materiales en estado sólido o semisólido, los cuales son dejados por su generador, ahora bien, un generador es la persona que a partir de la realización común de sus propias actividades produce residuos sólidos, los cuales son desechados por considerárseles de poco o ningún valor económico y se les denomina en el entorno coloquial como basura.

Se mencionó en el párrafo inmediatamente anterior, los materiales semisólidos, según Armendariz, Pachi & Arcos (2018), se contemplan en la Ley General de Residuos Sólidos, Ley N° 27314, como el lodo, el barro, la sanguaza, etc., y los ocasionados por

desastres naturales como derrumbes, precipitaciones, etc., estableciendo que deben ser tratados bajo las siguientes modalidades: a) minimizar la cantidad de residuos; b) Segregación en la fuente; c) Reaprovechamiento; d) Almacenamiento; e) Recolección; f) Comercialización; g) Transporte; h) Tratamiento; i) Transferencia.

Abdesslem y Chikhi hacen una elocuente reflexión que conlleva a la definición analítica sobre el problema de los residuos sólidos en la actualidad “la necesaria evolución del hombre desde que cultivaba tierras hacia su desarrollo social, provoca el aumento de poblaciones, nacen nuevas ciudades y caminos para transportar insumos y alimentos, ejerciendo un cambio cultural y dando inicio a residuos sólidos como problema”(2018, p.43); en consecuencia, se convirtió en problema la generación de residuos sólidos a razón del desarrollo social del hombre como participe de una concentración de masas en ciudades, así mismo, las guerras y el difícil problema de alejar de su vista los residuos, propició que el hombre aprendiera a vivir con su propia basura y con sus derivadas consecuencias.

Abdesslem y Chikhi (2018) aseveran que los residuos sólidos son todos aquellos resultantes de las actividades animales y humanas, generalmente sólidos y que se desprecian porque resultan inútiles o superfluos, en síntesis, el residuo sólido es aquel que se desecha a pesar de que pueda ser reciclado. Por otro lado, Detti, Papalini y De Lara indican que es conveniente tildar a los desechos como residuos, una tendencia actual que denota valor, visualizados como desechos que no tendrían que botarse automáticamente, apropiado cuando se desea dar la noción de valor en el residuo.

Retomando el problema de la acumulación de residuos sólidos se pronuncian Doerner y Salazar (2018) quienes manifiestan que esta problemática viene desde épocas muy remotas, tal fue el caso en la era de hombre primitivo que se veía en la necesidad de abandonar sus cuevas por la gran cantidad de espacio que ocupaban sus propios desperdicios, mientras que el problema se hizo sentir con más ahínco cuando el hombre empezó a unirse en tribus, aldeas y comunidades debido a que la cantidad de residuos que se generaba se multiplicó y se convirtió en una consecuencia de un nuevo estilo de vida.

Del mismo modo, Dotoli y Epicoco (2018) apoyan este fundamento al acotar que los residuos sólidos se producen desde los inicios de la humanidad, como resultante de sus actividades diarias, por supuesto que la composición de estos ha variado de acuerdo a los cambios por evolución tecnológica y cultural, en consecuencia, se puede inducir que los desechos sólidos provienen de la utilización de materiales que se producen y sirven para

utilidad humana por lo que se deduce que estos pueden ser recuperados como reciclaje, innovación o reutilización.

Clasificación

Se presenta a continuación la clasificación de los residuos sólidos según Grajales, Hincapié y Montoya (2018), los cuales indican que La Ley N° 27314 Ley General de Residuos Sólidos establece que se dividen según su origen, según su gestión y según su peligrosidad:

a) Según su Origen:

- Residuos domiciliarios: Son aquellos que se producen por las actividades domésticas y se generan de acuerdo al nivel de ingreso en el domicilio, a las costumbres de consumo y estilos de vida, entre ellos, latas, periódicos, pañales usados, cartón, botellas y otros de índole similar.
- Residuos Comerciales: Son los desperdicios originados por la ejecución de las actividades comerciales, generalmente suelen ser papel, plásticos, latas, etc., en tanto, se ocasionan por la prestación de bienes y servicios realizadas en establecimientos dedicados a tal ejercicio, entre ellos, bares, bancos, tiendas de alimentos, de ropa, oficinas de trabajo, entre otras de índole similar.
- Residuos de limpieza de espacios públicos: los resultantes de las actividades de limpieza de plazas, calles, parques y cualquier otra área pública, que se realiza de manera manual o con equipos especiales.
- Residuos de establecimientos de atención de salud: los resultantes de las actividades destinadas a la atención médica e investigaciones en medicina, por lo que, son considerados por contener agentes infecciosos o microorganismos sumamente peligrosos.
- Residuos Industriales: estos residuos son los ocasionados por los procesos productivos que se realizan en las diversas fábricas, entre ellas, mineras, pesqueras, manufacturera, de energía, etc., considerados peligrosos y no peligrosos, así como también, se encuentran estado líquido, sólido, semisólido y gaseoso, por ejemplo, fibra, lodo, ceniza, escoria metálica, sustancias pesadas y alcalinas, etc.

- Residuos de las actividades de construcción: se obtienen de las actividades relacionadas con la remodelación, construcción, restauración y demolición de infraestructuras, entre ellos, puentes, casas, hoteles, carreteras, represas, entre otros de índole similar.
- Residuos Agropecuarios: se originan por las actividades agrícolas y pecuarias, de los cuales, se pueden mencionar, envases de fertilizantes, plaguicidas en general agroquímicos variados, etc.
- Residuos de instalaciones o actividades especiales: ocasionados en la ejecución de actividades eventuales como conciertos, campañas publicitarias, políticas o médicas, así como, relativa a servicios públicos y privados de gran dimensión, como la construcción de aeropuertos, terminales terrestres, construcción de plantas de tratamiento, etc.

b) Según su Gestión:

- De ámbito municipal: son los ocasionados por los domicilios y comercios cuya gestión le es asignada a la municipalidad, es decir, es responsabilidad del municipio el destino de los residuos sólidos una vez el agente generador le entrega a los representantes encargados de esta prestación o cuando los coloca en el lugar determinado por el municipio para la respectiva recolección. Es preciso destacar, que estos desechos son orgánicos, es decir, biodegradables, tales como, papel, cartón, madera e inorgánicos, entre ellos, vidrio, plástico, material inerte; por último, es de acotar, que la gestión municipal relativa a los residuos sólidos se destina a la acción del método de relleno sanitario.
- De ámbito no municipal: ocasionados por actividades que no corresponden a la gestión de la municipalidad, los cuales se colocan en rellenos de seguridad, para ello se disponen de dos tipos, para residuos peligrosos y relleno de seguridad para residuos no peligrosos.

c) Según su Peligrosidad:

- Peligrosos: se consideran residuos peligrosos aquellos que en su manipulación ponen en riesgo la salud de las personas o el ambiente, deben poseer las siguientes características: gozar de auto combustibilidad, ser explosivos, corrosivos, reactivos, tóxicos, radiactivos o patogénicos,

entonces, se puede mencionar como residuo sólido peligroso, el lodo de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

- No peligrosos: implican todo lo contrario del anterior, aquellos residuos que al manipularlos no representan riesgo representativo en la salud de las personas o el ambiente.

Recolección de residuos sólidos

Para Huang, Zhao, Woensel, y Gross (2019) la recolección de residuos sólidos consiste en su traslado desde la fuente generadora hasta el vehículo encargado de llevarlo hacia el sitio de disposición final, por lo tanto, se debe realizar de manera organizada un plano de la zona asignada a cada vehículo, en el cual, se observe el curso que este debe seguir, los tiempos y la cantidad de residuos que se acumulan en el trayecto, entonces, indican los autores, el plano debe contener como datos, la cantidad de viviendas y lugares de mayor concentración de residuos y las señales de calles, jardín, viaductos o vías de índole similar.

Según Becerra y Alvarado (2018), al diseñar un plano se debe tener una visión integral en cual contemple como características el ser técnico, que sea fácil de utilizar, de operar y de actualizar, además debe ser social, fomentando así hábitos positivos, económico, cuyos costos sean acordes a lo disponible por la población, organizativo, que su administración y gestión sea dinámica y que contemple la preservación de salud, en la que se visualice la prevención de impactos sustanciales en el suelo, agua y aire.

Se pueden establecer dos pasos a seguir al diseñar un plano, según Grajales, Hincapié y Montoya (2018) el primero consiste en realizar un proyecto de gabinete, en el cual, se calcula las necesidades y se asignan las áreas a los camiones y el segundo llamado ajuste de campo, consistente en analizar las actividades asignadas para balancearlas y nivelar el trabajo de manera equitativa a las cuadrillas existentes. El trazo establecido en el plano se puede optimizar mediante el método determinístico, es un sistema computarizado que se alimenta por los puntos establecidos, indicando la ruta óptima de las respectivas paradas, en este sistema se debe incorporar la información cumpliendo con las siguientes normas, según Guasmayan (2018):

- Las rutas se incorporan de manera directa, sin fragmentaciones.

- Se debe dar inicio a la ruta lo más cercano posible del sitio de recolección y terminarla con la dirección de la disposición final del residuo.
- No se confecciona la recolección en horas pico ni en avenidas principales.
- En lugares ascendientes empezar la ruta de arriba para abajo, se recolecta sólo bajando.
- En calles ciegas o con retorno reducido, se recolecta a pie mientras el vehículo aguarda en la esquina.
- En la medida posible, recolectar a la vez ambos lados de la calle.
- Aplicar diagramas típicos en los casos de zonas con características coincidentes.
- Señalizar las paradas fijas.

Es preciso aclarar, lo expuesto por Guasmayan (2018), quien indica que la eficiencia en la recolección de residuos no está determinada por la cantidad de viajes que realice un vehículo, no es relativa a un mayor número de viajes, por el contrario, de ese modo las unidades se desgastarán rápidamente, la idea central es analizar y establecer un adecuado control de rutas y evitar cargas adicionales no consideradas a tiempo. Por lo tanto, en el diseño de rutas se debe primero sectorizar, es decir, dividir la ciudad en sectores asignándoles a cada uno un equipo de recolección de manera equitativa y explotando toda su capacidad, pudiendo ser divididos en subsectores, luego se establecen los límites de los sectores guiados con el mapa de la ciudad, evitando barreras que hacen perder tiempo, posteriormente se procede a realizar un diagrama en el que se observa la ruta de recorrido de cada subsector.

Finalmente, se cierra este concepto definiendo los dos tipos de trazo, según Ocampo, Escobar y Gallego (2019) el peine que consiste en la recolección de ambos lados a la misma hora, por lo que se hace el recorrido una vez por cada vía, se debe realizar en las zonas de escasa población y el segundo tipo llamado doble peine, en el cual se recogen los residuos de un solo lado de las vías, por lo que el recorrido es doble, se realiza cuando las zonas son de alta densidad y en presencia de zonas comerciales.

Métodos de Recolección de Residuos Sólidos

Un sistema de recolección de residuos sólidos se organiza mediante un método de recolección, en el cual se administra la información necesaria para llevar a cabo la actividad, acorde a las necesidades de la población en base a la cantidad de residuos existentes y de acuerdo a la tecnificación de los equipos, según Asefi, Shahparvari, & Chhetri (2019)

cuando se evalúa el nivel de tecnología de los vehículos recolectores existentes, los métodos se clasifican en, mecanizados, semi-mecanizados, estos dos utilizados en zonas netamente urbanizadas y métodos manuales realizados por equipos no convencionales, se hallan en localidades realmente rurales. Por otro lado, destaca Asefi, Shahparvari, & Chhetri (2019), cuando se analiza el tipo de demanda, los clasifica en métodos para demandas de tipo continuo y semicontinuo y, para demandas de tipo discreto, en consecuencia, un método de recolección está condicionado por su demanda y por la tecnificación de los equipos que se utilizan.

Ahora bien, el método de recolección que se lleva a cabo en una zona está determinado por el sistema mismo, es decir, el método de recolección de un sistema se establece de acuerdo con el nivel de organización con el que se atienden a los usuarios de dicho sistema, por consiguiente, se relaciona directamente con el nivel de servicio y a escala nacional, según Asefi, Shahparvari, & Chhetri (2019), se clasifican en:

- Método de esquina: consiste en el traslado del residuo realizado por su generador hasta la unidad vehicular recolectora dispuesta para tal servicio, en el cual, realizan una fila ordenada en espera de que un operador descargue su recipiente y lo entregue de vuelta, por lo que, implica una demanda discreta semi-mecanizada con alta participación del usuario.
- Método de Acera: en este caso el generador del residuo sólido lo traslada hasta la acera para que luego un operario del vehículo recolector lo tome y lo traslade hacia el vehículo recolector, vacía su contenido y lo devuelve a la acera para que el usuario lo tome y lo introduzca en su domicilio, requiere que el vehículo vaya a baja velocidad, por lo tanto, necesita de una calle de doble sentido para no perturbar el paso, además, se encuentra expuesto a que animales roedores dispersen la basura tratando de buscar alimentos, es de demanda continua semi-mecanizada.
- Método Intradomiciliario: se realiza la misma actividad que el anterior con la diferencia que el operario del vehículo recolector entra y sale de las casas con el recipiente, una vez lo haya vaciado al vehículo, lo devuelve de donde lo tomo, por lo cual, resulta más costoso que el de esquina y el de acera, es de demanda semi-continua y de cero participaciones del usuario.
- Método de Contenedores: similar al de la esquina, puesto que el vehículo recolector se detiene en puntos estratégicos para realizar el servicio, se acopla a la perfección

cuando las zonas son de difícil acceso o de basta generación de residuos, entre ellos, hoteles, supermercados, condominios, etc., en los cuales se ubican los contenedores en lugares visibles y permisibles de maniobras vehiculares, es de demanda discreta, mecanizada y la participación del usuario es relevante.

Tipos de Vehículos y Equipos destinados a la Recolección de Residuos

De acuerdo con Assaf & Saleh (2018) los vehículos y equipos de recolección y transporte de residuos se clasifican en convencionales y no convencionales, su efectividad depende de su capacidad, por lo que, mientras mayor sea su especialización menor será el costo de recolección, los vehículos compactadores se adecuan perfectamente por su mayor capacidad al reducir el volumen de los residuos, entre su clasificación se encuentran:

- Equipos de alta tecnificación: son aquellos que contienen, bien sea por que se les adapte o por su diseño, la capacidad de realizar actividades automatizadas de carga y descarga de contenedores.
- Equipos especializados: los equipos que son diseñados con un mecanismo de placa empujadora de basura, que facilitan la descarga de la basura, puede que sean compactadores o con solo placa empujadora.
- Equipos no convencionales: dentro de estos se hallan cualquier vehículo que sea utilizado para el traslado de los residuos sólidos, que no poseen características especiales o se encuentran altamente tecnificados.
- Sistemas de recolección por contenedores altamente especializados: son equipos diseñados para manipular contenedores de gran tamaño, puede que sean de 2 a 5 veces más grandes que los contenedores que manipulan los vehículos con mecanismos de contenedores adaptado, se utilizan en casos de demanda exclusiva y son altamente tecnificados, puesto que, su mecanismo de carga y descarga debe disponer de una gran capacidad, en cuanto a recolección es muy eficiente y es recomendable implementarlo en zonas de gran generación, por ejemplo, mercados, hospitales, industrias, etc. Dentro de este sistema se pueden mencionar los contenedores soterrados, se definen:
 - a) Contenedores soterrados: consiste en colocar la basura en un contenedor no visible en la superficie, la base del contenedor se dispone oculta en el suelo en puntos estratégicos y en los países que se ha implementado ha dado los efectos esperados, se colocan con solo una tapa de buzón para la entrada de basura y en el momento del

vaciado, se eleva el contenedor, se descarga el residuo en el vehículo compactador y de nuevo se baja el contenedor; en Bellavista, Miraflores y otros municipios se implementó esta modalidad, en las cuales se ha observado ausencia de malos olores, mayor control de residuos, vías públicas limpias, optimización de las condiciones de higiene, evacuación de residuos en horarios de 24 horas, entre otras más ventajas que ofrece este sistema de contenedores.

- a) Vehículos compactadores: el problema real de los residuos sólidos radica en su volumen, razón por la cual se diseñan vehículos con un sistema que permita reducir tal volumen con el fin de aumentar la capacidad de residuos recolectados, que de lógica son vehículos costosos, tanto para su adquisición como para su mantenimiento, debido a que contienen mecanismos especializados de elevación y compresión.

Frecuencia y Horarios de Recolección de Residuos

Al respecto Blazquez, & Paredes-Belma (2020), indican que la determinación del horario de recolección se debe realizar de acuerdo con: cantidad de residuos, características de las localidades, jornadas de trabajo, disposición de vehículos y equipos de recolección, cantidad de peatones y vehículos en tráfico, la cultura de la población, los hábitos de la localidad, en fin, cualquier situación con posible incidencia en la actividad de recolección. Ahora bien, en el caso que se considere efectivo un horario de recolección nocturno, se debe ejercer acatando las normas necesarias para mitigar el ruido que pueda perturbar el descanso de la comunidad a la que se le presta el servicio.

En cuanto a la frecuencia de recolección Blazquez, & Paredes-Belma (2020) señalan que para su determinación se debe tener en cuenta, primero el volumen de basura generado y el que el tiempo de recolección no exceda del ciclo de reproducción de la mosca (depende del clima se reproducen de 7 a 10 días) y está relacionada con la periodicidad con la que se recogen los residuos en una misma localidad; por lo tanto, en el análisis de la frecuencia de la recolección inciden la cantidad de basura generada y las condiciones ambientales de la localidad.

Se puede establecer entonces, una frecuencia de recolección diaria, esta se efectúa en las grandes ciudades, en la cual los vehículos recorren diariamente la totalidad de las rutas implicando un sistema de alto costo; una frecuencia de recolección cada dos días o lo que es igual tres veces por semana debido a que el domingo no es laborable, consiste en recolectar

un día sí y otro no y presenta como ventajas menor costos por tonelada/kilómetro, menor costo de mantenimiento por tonelada basura transportada y como desventaja, por el vacío desde el viernes hasta el lunes de recolección, se proliferan malos olores y un ligero incremento de insectos (Cortinhal, Mourão, & Nunes, 2018).

Frecuencia de recolección dos veces por semana, consistente en coordinar dos días a la semana para la prestación del servicio, presenta como ventajas que disminuyen los costos por tonelada/kilómetro transportado y por mantenimiento y como desventaja, debido a la baja frecuencia se proliferan los insectos, los malos olores y se presentan los tiraderos clandestinos por la presencia de incomodidades de los habitantes de las zonas de baja frecuencia de recolección (Delgado, Caballero, Sánchez, & Colmenar, 2020).

Rutas de recolección

Según Edalatpour, Al-e-hashem, Karimi, & Bahli (2018) se diseñan las rutas mediante la observación y el análisis del tipo de vía de la localidad, la ubicación de los residuos, las zonas de difícil acceso, la cantidad de habitantes de la localidad, especificaciones de los vehículos, cantidad de equipos, condición de las vías, frecuencia de la recolección, distancia por recorrer hacia el sitio de descarga, disposición de los contenedores, planos del terreno, otras condiciones que incidan en el diseño de rutas, estas se dividen en macro ruta y micro ruta, en la primera se fracciona la ciudad en sectores operativos con el propósito de determinar el tamaño de las rutas para distribuir el trabajo de forma equitativa.

En cuanto a, micro ruta, apuntan Edalatpour et al. (2018) que delimita el recorrido que debe realizar el vehículo que presta el servicio, en el cual puede visualizar toda área que se le ha asignado, contentiva de una ruta para cada sector, con el objeto de acortar los tiempos por desvíos o pérdidas innecesarias. Así mismo, señalan Elshaer & Awad (2020) que existen otras consideraciones al momento de diseñar el ruteo, entre ellos, las rutas deben ser lineales, compactas que enmarque un área geográfica, los canales de una sola vía se atacan desde el principio, se evitan las vueltas en U, se empieza la recolección por las partes elevadas, en el método de acera es recomendable rodear la manzana y cuando es por lo lados de la acera es recomendable hacer el servicio en línea recta.

Algoritmos para optimizar rutas de recolección

Al mencionar sistemas para optimizar el funcionamiento de los procesos, en los cuales se involucra la toma de decisiones, destacan Elshaer & Awad (2020), que se está en presencia de la Investigación de Operaciones u Operativa, en ella se emplean modelos matemáticos para simplificar situaciones reales que al aplicarlos faciliten la toma de decisiones, la misma funge como pieza fundamental, debido a que es mucho más factible tomar decisiones en base a resultados obtenidos con un modelo.

Dentro de dichos modelos matemáticos existentes están la programación lineal, la entera y la dinámica, la primera consiste en el empleo de modelos lineales, en el caso de la programación entera se asumen como variables valores enteros y en la dinámica se descompone el modelo en sub-problemas manipulables, sin embargo, estos modelos son complejos cuando se intentan resolver algoritmos relacionados con clientes, para ello, es conveniente utilizar métodos heurísticos y de metaheurísticas, los cuales consisten en la aplicación de técnicas que se valen de estrategias prácticas para lograr soluciones óptimas.

La definición de los métodos heurísticos se presenta bajo la acepción de Expósito-Márquez, Expósito-Izquierdo, Brito-Santana & Moreno-Pérez (2019), los cuales indican, que se compone de cualquier elemento que de manera eficiente halla la solución a un problema, se fundamentan en guías que sirven de apoyo a algoritmos conocidos con el propósito de entregar óptimos resultados. Por otro lado, Farrokhi-Asl, Makui, Ghousi & Rabbani (2020), define a los métodos metaheurísticos como la generalización de la heurística que se emplea con el objeto de alcanzar resultados de alta calidad, mientras que para su aplicación se debe obtener toda la información necesaria del problema para manejar un cierto grado de conocimiento de la problemática a solucionar.

Un modelo de rutas de transporte según Farrokhi-Asl et al. (2020), se puede fundamentar en la teoría de programación lineal, la cual se mencionó anteriormente que pertenece a un modelo matemático, pero en teoría consiste en la planificación de actividades para lograr resultados que mejor se adapten a la meta visualizada, así mismo, para la asignación de rutas se puede determinar con el método de asignación, que consiste en identificar el costo mínimo en la asignación de trabajadores en sus puestos, lo que quiere decir, que las variables en este método en el caso de un modelo de transporte, se conforman por los trabajadores como el origen de los viajes y los puestos se satisfacen por el destino del viaje en los equipos de traslado.

La investigación actual está centrada en la aplicación de métodos metaheurísticos, por ello, se ahonda un poco más, al respecto Farrokhi-Asl, Makui, Jabbarzadeh & Barzinpour (2018) indican que van un paso más allá de la heurística, pues, persigue la resolución de problemas de mayor dificultad que se presentan en las empresas, la economía, la ingeniería, entre otras; en consecuencia, es una estrategia maestra en la cual la heurística se apoya, con el objeto de producir soluciones, que van más allá de las que normalmente se generan cuando se intenta resolver de manera eficiente, un problema.

Del mismo modo, Ganji, Kazemipoor, Hadji & Sajadi (2020) acota que se emplea un procedimiento Metaheurístico cuando se desea resolver problemas difíciles, de los cuales se determinó que la heurística clásica no resuelve de manera eficiente ni eficaz, por consiguiente, proporcionan un mundo global que permiten crear nuevos algoritmos puros, a partir de la combinación y aplicación de conceptos de Inteligencia Artificial, evolución biológica y mecanismos estadísticos. Es decir, que el procedimiento metaheurístico implica el seguimiento de reglas empleadas para servir de guía en un método heurístico subordinado, que contempla y combina conceptos diversos para hallar soluciones que resulten óptimas, eficientes y eficaces.

Estos procedimientos metaheurísticos son coincidentes de los heurísticos en que contemplan un mecanismo de parada, puede que debido al número de iteraciones, otras sin mejorar, cercanía muy próxima a un resultado óptimo, por la selección previa de un rango admisible, etc., si se desea determinar la jerarquía se supone que los metaheurísticos están por encima de los heurísticos (Ganji et al., 2020). En términos de clasificación, señalan Hannan et al. (2018) que existen dos grupos, metaheurísticos centrados en búsqueda por entornos y relativos a la evolución de poblaciones, sin embargo, existen muchas ramificaciones cuando se emplean diversas estrategias, haciendo difícil determinar una amplia clasificación.

Cuando se lleva a la práctica, los métodos metaheurísticos en la actualidad emplean combinaciones de diversas clasificaciones, a partir de ello, nacen métodos constructivos como GRASP y métodos evolutivos que se nutren de búsquedas guiadas junto con otras diversas combinaciones. Ahora bien, en cuanto a la forma de evaluar el ambiente donde se pueden producir las factibles soluciones, existen metaheurísticas que aplican procesos bien sea preestablecidos, sistemáticos o de estrategias aleatorias (Hannan et al., 2018).

Es preciso señalar, los métodos hiperheurísticos, puesto que son estrategias que se han desarrollado actualmente, según Hvattum, Løkketangen & Laporte (2019) consiste en la implementación de estrategias heurísticas para determinar el más adecuado en la resolución de un conflicto, poseen como característica principal de identificar las estrategias de programación estándar que puede ser utilizado en diferentes problemas, es decir, contempla un heurístico de alto nivel que proporciona alternativas de solución a otro algoritmo de bajo nivel. En resumen, es un algoritmo que selecciona de los diversos heurísticos existentes, el que se adecue para obtener la solución de un problema de optimización.

Dada la comprensión del método metaheurístico, se pueden mencionar los utilizados en la resolución de problemas, destacando los siguientes según Hvattum, Løkketangen & Laporte (2019), como los más exitosos:

- a) Algoritmos Genéticos
- b) Recocido Simulado (Simulated Annealing)
- c) Búsqueda Tabú (Tabu Search)
- d) Algoritmos Meméticos
- e) Path Relinking (Reencadenamiento de trayectorias)
- f) GRASP
- g) Búsqueda Reactiva
- h) Colonia de Hormigas
- i) Concentración Heurística
- j) Scatter Search (Búsqueda Dispersa)
- k) Búsqueda Local Guiada
- l) Búsqueda por Entornos Variables
- m) Algoritmos de Estimación de distribuciones
- n) Algoritmos Bionómicos
- o) Búsquedas Multiarranque

Seguidamente se definen alguno de ellos:

Algoritmo genético

En la búsqueda de la solución a un problema nace el algoritmo genético, que persigue evaluar la evolución de las especies de la biología, es considerado un algoritmo evolutivo, se vale de los principios de selección natural cuando intenta alcanzar la resolución de

problemas, del cual, se obtiene un conjunto de soluciones. Está basado en la aplicación de técnicas que permitan generar, seleccionar, combinar y reemplazar el nascente conglomerado de soluciones, por lo que, ameritan de una inversión mayor de tiempo de computación, debido a que funciona de manera constante con el conjunto de soluciones (Kumar & Kumar-Singh, 2021).

Recocido Simulado

Este algoritmo desarrollado por Kirkpatrick (1983), según Mostafayi, Moazzeni & Hvattum (2020), comprende un método metaheurístico en el cual se persigue alcanzar una solución a escala global, es de naturaleza de análisis estadístico, por lo que, garantiza, a razón de probabilidad, el alcance de un óptimo global. El modelo es similar al proceso físico llamado como recocido, debido a ello, su nombre, el proceso consiste en la búsqueda de mejorar las propiedades de un material, mediante el temple de temperatura máxima de austenización, seguido de un lento enfriamiento, para obtener un material con mayor elasticidad, menor dureza, en fin nuevas y mejores propiedades. (Mostafayi, Moazzeni, & Hvattum, 2020).

Búsqueda tabú

También conforma un algoritmo metaheurístico, según Normasari, Yu, Bachtiyar & Sukoyo (2019) nace de la intención de dotar de inteligencia a los algoritmos de búsqueda y consiste en la aplicación del concepto de memoria para dirigir una búsqueda teniendo en cuenta su historial, es decir, el proceso se enfoca en extraer información de lo acontecido y reaccionar en consecuencia. Se puede inducir entonces, que existe un aprendizaje y que se realiza una búsqueda inteligente, mientras que la búsqueda tabú se mantiene en movimiento cuando persigue una solución aunque la hallada no sea tan eficiente como la actual, pero manteniendo la movilidad que le permite dejar escapar óptimos locales y hallar estratégicamente, con la búsqueda continua, mejores soluciones aún existentes, en consecuencia, se habla de una búsqueda agresiva a través de una memoria adaptativa, en la que se almacena en una lista (lista tabú) las soluciones ya visitadas, para declarar una solución posible, tildada tabú, cuando los atributos se hallan en dicha lista.

Algoritmo mimético

La aseveración realizada por Rabbani, Heidari, Farrokhi-Asl & Rahimi (2018) respecto a este algoritmo metaheurístico, es que se compone de la fusión de algunas

percepciones de los algoritmos evolutivos y la búsqueda por entornos, estos algoritmos se mantienen en constante búsqueda de soluciones, dentro de una población que contiene agentes optimizadores competitivos y cooperativos, más allá de ello, agentes que contienen de manera detallada el conocimiento de la problemática existente a la cual se pretende dar solución. En consecuencia, es una estrategia de optimización, que se diferencia de otras por su característica ecléctica y pragmática, es decir, se encuentra abierta a la integración de estrategias, en la cual se produce una sinergia que involucra las técnicas propias y de las diferentes metaheurísticas, ganando así una competitividad por el éxito garantizado que está manifestando.

Path relinking

Para Tirkolae, Abbasian, Soltani & Ghaffarian (2019), este algoritmo metaheurístico nace a partir de la búsqueda tabú, de hecho, es una estrategia de ella que en la actualidad ha ganado identidad propia, centra su función en la exploración, busca la diversidad de soluciones durante el trayecto dentro de las soluciones existentes previas, por lo tanto, supone soluciones de alta calidad que permitan la implementación de una respuesta cargada de atributos con la que se puede disponer como solución final.

Grasp

Este algoritmo metaheurístico es definido por Tirkolae et al. (2019) como una técnica en la cual cada solución repetida aporta un elemento al problema que se está intentado solucionar, mientras tanto, se almacena la solución más adecuada como resultado final, consiguientemente, se manifiesta en dos fases, primero se trabaja en la construcción de una respuesta a través de un método ávido y aleatorio, luego, en la segunda fase, se procede a realizar un proceso de búsqueda local a la respuesta construida, con el propósito de hallar una mejora, por lo cual, forma parte de un metaheurístico constructivo.

Búsqueda reactiva

Según Trochu, Chaabane & Ouhimmou (2019) es un metaheurístico de optimización, que consiste en la búsqueda histórica y en el conocimiento acumulado, cuando realiza su procedimiento de configuración, generalmente utilizado para procesos de auto-adaptación, por lo que, en su interior es flexible, característica que le permite enfrentar diversas situaciones durante la búsqueda por entornos.

Colonias de hormigas

Como su nombre lo indica, según Trochu, Chaabane & Ouhimmou (2019) es un algoritmo desarrollado en base al comportamiento de las colonias de hormigas, las cuales siempre hallan el camino más corto, desde su colonia hasta la fuente de alimento, a través de la transmisión de información por el rastro que enmarcan en su trayectoria, por ejemplo, una hormiga sale en busca de alimento y se mueve de manera aleatoria, dejando un rastro, si lo encuentra se devuelve por el mismo camino a conservarlo, dicho rastro se hace más interesante, puesto que dejan su feromonas, mientras más hormigas transiten, más se impregna de feromonas, lo que conduce al aumento de hormigas, en consecuencia, cuantas más hormigas transiten por el rastro, más atractivo se vuelve para ellas.

1.3 Definición de términos básicos

Algoritmo: Un algoritmo comprende la aplicación de instrucciones o normas definidas, de manera ordenada y determinística, que se utilizan para buscar la solución a un problema, en cual se realizan cálculos, se procesan datos y se llevan a cabo diversas actividades (Wei, Zhang, Zhang, & Heung, 2018)

Ambiente: Lo conforman elementos físicos químicos y biológicos, provenientes de la naturaleza o derivado de la actividad del hombre, existentes en el entorno de los seres vivos determinando sus condiciones de vida (Wu, Tao, & Yang, 2020).

Botadero: Sitio clandestino o no acondicionado, que los habitantes destinan a la disposición final de residuos sólidos, los cuales exponen a la comunidad a riesgos sanitarios y ambientales, ubicados en zonas urbanas, rurales y baldías (Yu et al., 2020).

Camiones compactadores: son vehículos especialmente diseñados para trasladar basura desde la zona de generación hasta los sitios destinados para tal fin, sin embargo, también se utilizan para transportar polvo, carbón, tierra y cualquier otro material a granel, cuya función principal y mecanismo interno consiste en aplastar o comprimir el contenido que se le carga, con el propósito de reducir su volumen, optimización así la eficiencia de la recolección y el transporte (Zhang, Gajpal, Appadoo, & Wei, 2020).

Contaminación ambiental: consiste en la actividad realizada por el hombre en la que introduce contaminantes al ambiente, que están por encima de las concentraciones máximas permitidas, que al final se acumulan en el ambiente por tiempo ilimitado, por no ser biodegradable (Asefi, Shahparvari, & Chhetri, 2019).

Contaminante: es aquel material, elemento o energía que se encuentra en un medio al que no pertenece, bien sea por que no contiene la misma concentración natural o porque se halla en un ambiente no contaminado (Becerra & Alvarado, 2018).

Desarrollo sostenible: la palabra sostenibilidad hace mención a la capacidad de satisfacer las necesidades sin comprometer el bienestar de las generaciones futuras, por lo tanto, el desarrollo sostenible implica la equidad entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social (Cadena, 2018).

Eficiencia de los recursos: Consistente en la acción de realizar más y mejor con menos (Doerner & Salazar, 2018).

Evapotranspiración: consiste en el agua que se concentra de nuevo en la atmosfera mediante la evaporación y la transpiración de las plantas (Assaf & Saleh, 2018).

Fuentes contaminantes: son sitios fijos, puntuales, dispersos y móviles en el cual se liberan contaminantes al ambiente (Miniguano, 2018).

Gestión de residuos sólidos: es la actividad técnica realizada para el manejo apropiado de los residuos sólidos que implique la planificación, coordinación, organización, dirección, diseño y evaluación de procedimientos destinados a la concertación y destino de desechos a nivel local, regional y nacional (Guasmayan, 2018).

Heurísticas: son aquellas actividades determinadas a la exploración de un espacio para encontrar soluciones factibles en un tiempo limitado, funcionan mediante algoritmos que se aproximan a la realidad, los cuales tienen como objetivo, a través de la aplicación computacional, hallar algoritmos buenos de verificación comprobable y de garantía de calidad en la solución, es decir, la heurísticas prueba las soluciones buenas demostrando su veracidad (Mostafayi, Moazzeni, & Hvattum, 2020).

Hormiga artificial: una hormiga artificial es un mecanismo probabilístico que permite armar diversas soluciones a un problema, imitando la actividad de la hormiga natural, en la que deja secuelas de conocimientos adquiridos, que cambian con el tiempo a razón de la experiencia en los casos de la función de resolución de conflictos (Trochu, Chaabane, & Ouhimmou, 2019).

Metaheurística: una metaheurística es el empleo de la heurística para resolver determinados problemas, a nivel jerárquico están por encima de las heurísticas, puesto que guían el diseño de esta, en consecuencia, involucra parámetros dados combinando algunas heurísticas para obtener resultados eficientes (Becerra & Alvarado, 2018).

Modelo: implica una proyección de la realidad de modo resumido, que se confecciona con el propósito de facilitar su comprensión y estudio, de manera que se

visualiza mejor y de una forma más sencilla las variables existentes pudiendo relacionarlas de manera más simple y factible (Cortinhal, Mourão, & Nunes, 2018).

Nodo: término utilizado generalmente en informática y en telecomunicación para denotar el punto de intersección, en la cual, se unen varios elementos que diverjan en un mismo entorno, su representación depende estrictamente al tipo de redes que se esté mencionando en cuestión (Ávila & Ramírez, 2019).

Optimización: es utilizada por las diversas ciencias para seleccionar dentro de un conjunto de elementos existentes, la mejor opción, generalmente empleada en el campo de la investigación operativa (Wu, Tao, & Yang, 2020).

Percolado: es el líquido que percola por los residuos sólidos, puede ser proveniente del agua de lluvias, por humedad que genera el mismo residuo, la descomposición de los materiales orgánicos, etc. (Cortinhal, Mourão, & Nunes, 2018).

Reaprovechamiento: consiste en un procedimiento destinado a la obtención de un beneficio de un artículo que ya es parte de un residuo sólido, por lo tanto, se puede inferir que consiste en la gestión de los residuos, debido a que se aplican técnicas desinadas al reaprovechamiento, como el reciclaje y la reutilización (Edalatpour, Al-e-hashem, Karimi, & Bahli, 2018).

Residuos sólidos: comprende el conjunto de elementos, materiales o bienes que son desechados después de agotarles su utilidad percibida a modo personal, puesto que, pueden ser útiles para otras personas (Murillo, 2018).

Rutas: es proveniente del francés route y del latín rupta, que describe un camino o vía en la cual se puede desplazar de un sitio a otro, por lo que, se asume como la dirección de un destino que se asimila con un propósito en específico (Ocampo, Escobar, & Gallego, 2019).

Sectorización: es la división del conjunto de localidades que componen a una ciudad, realizado bajo normas generales de planificación (Murillo, 2018).

Sistema: los sistemas se componen de estructura y entorno, en el caso de sistemas materiales se les añade el mecanismo y figura, se comprenden de una actividad en la cual operan partes o componentes que se relacionan entre sí, poseen la característica de complejidad (Raggio, 2021).

Tratamiento: radica en el procedimiento empleado para modificar las condiciones propias de los residuos sólidos (físicas, químicas y microbiológicas), cuyos propósitos finales son de beneficio propio y de la población, considerando modificar su volumen o

eliminar los agentes infecciosos que ponen en riesgo la salud o contaminan el ambiente (Dotoli & Epicoco, 2018).

Tugurizarían: consiste en la construcción de manera desproporcional de centros comerciales, mercados, bancos, oficinas públicas, empresas, etc., que ocasionan colapso vehicular, accidentes, contaminación, en fin, cantidad de problemáticas suscitadas a raíz de la superpoblación descontrolada que ponen en riesgo la salud y vida de los habitantes (Doerner & Salazar, 2018).

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Tipo y nivel de investigación

El presente estudio corresponde a investigación aplicada, que, de acuerdo con lo señalado por Hernández, et al., (2014) son las que tiene como objetivo generar conocimiento con aplicación directa sobre problemas particulares que le atañen a la sociedad, enlazando la teoría con el producto final. También, se le conoce como investigación práctica o empírica. Basado en el propósito central de la investigación en curso que corresponde a mejorar el sistema de ruteo vehicular en la recolección de basura del Distrito de Morales mediante la aplicación de un Algoritmo Metaheurístico.

En lo concerniente al nivel de la investigación, corresponde al explicativo, que, para Hernández, et al., (2014) se centran en el establecimiento de las causas o sucesos que se están estudiando (p. 95). Se indaga las necesidades del Distrito de Morales referidas al ruteo vehicular en la recolección de basura, y a partir de allí, se establecieron las causas que permitieron dar respuestas a la problemática planteada.

2.2 Diseño de la investigación

Hernández, et al., (2014) puntualizan que los estudios experimentales son aquellos de intervención, debido a que, el investigador a partir de una situación genera una explicación de los efectos que se producen sobre quienes participan en la investigación. A través de la manipulación de las variables, donde la variable independiente “Algoritmo Metaheurístico” ejerce influencia sobre la dependiente “ruteo vehicular en la recolección de basura” en una situación de control, Distrito de Morales. El diseño seguido fue: pretest y post-test, aplicable a un solo grupo inserto en el diseño preexperimental. Tal y como se describe en la tabla 1:

Tabla 1.*Diseño pretest pos-test de un solo grupo*

Estructura	Procedimientos
GE₁: O₁ ---X--- O₂	1) Precisión del grupo de estudio o muestra.
Donde:	2) Evaluación pretest al grupo de estudio.
GE ₁ : Grupo	3) Aplicación o tratamiento (al grupo experimental).
Experimental	4) Evaluación post test.
O ₁ : Evaluación pretest	5) Comparación de los resultados de la evaluación
O ₂ : Evaluación post test	pretest y evaluación post test.
X: Algoritmo metaheurístico.	Utilidad: Permite el conocimiento de los resultados de la aplicación ensayada.

2.3 Población y muestra

2.3.1 Población

Para Hernández, et al., (2014) la población constituye el universo con características similares que permitirá medir el alcance de la investigación, los cuales concuerdan con determinadas especificaciones (p. 174). Para el presente estudio la población la conforman por un lado los habitantes del Distrito de Morales, Provincia San Martín, en total 44851 habitantes (según Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2021), a los cuales se les aplicó una encuesta para determinar la necesidad de mejorar el sistema de ruteo vehicular en la recolección de basura del Distrito, pues son los más afectados ante estas carencias. Por otro lado, se consideró el personal del área de Gestión Ambiental de la Municipalidad Distrital de Morales, conformada por 12 personas, es la unidad encargada de la gestión de residuos sólidos, a los cuales se les aplicó una encuesta para determinar la necesidad de aplicación de tecnología que mejore el funcionamiento del área.

Conclusion.

Provincia y Distrito	Población Total Proyectada al 30/06/2021	Capital Legal				
		Nombre	Categoría	Ubicación Geográfica		
				Altitud (msnm.)	Longitud Oeste	Latitud Sur
Rioja	133 698					
Rioja	26 962	Rioja	Ciudad	850	77°10'06"	06°03'45"
Awajun	7 990	Bajo Naranjillo	Pueblo	888	77°22'58"	05°48'58"
Elias Soplin Vargas	21 880	Segunda Jerusalem-Azunguillo	Pueblo	853	77°16'41"	05°59'14"
Nueva Cajamarca	47 584	Nueva Cajamarca	Pueblo	869	77°18'25"	05°56'10"
Pardo Miguel	17 168	Naranjos	Pueblo	963	77°30'16"	05°44'22"
Posic	2 147	Posic	Ciudad	838	77°09'43"	06°00'48"
San Fernando	3 671	San Fernando	Pueblo	828	77°16'10"	05°54'07"
Yorongos	2 541	Yorongos	Ciudad	883	77°08'39"	06°08'19"
Yuracyacu	3 755	Yuracyacu	Ciudad	812	77°13'35"	05°55'52"
San Martin	222 442					
Tarapoto	83 892	Tarapoto	Ciudad	342	76°21'37"	06°29'22"
Alberto Leveau	923	Urcurca	Pueblo	215	76°17'12"	06°39'47"
Cacatachi	3 834	Cacatachi	Pueblo	309	76°27'05"	06°27'43"
Chazuta	10 719	Chazuta	Pueblo	189	76°08'16"	06°34'25"
Chipurana	2 445	Navarro	Pueblo	152	75°44'29"	06°21'15"
El Porvenir	2 585	Pelejo	Pueblo	152	75°48'03"	06°12'42"
Huimbayoc	5 624	Huimbayoc	Villa	181	75°46'05"	06°25'04"
Juan Guerra	4 212	Juan Guerra	Pueblo	207	76°19'51"	06°35'03"
La Banda de Shilcayo	50 923	La Banda	Pueblo	418	76°20'26"	06°29'24"
Morales	44 851	Morales	Pueblo	290	76°22'59"	06°28'45"
Papaplaya	1 998	Papaplaya	Pueblo	149	75°47'26"	06°14'43"
San Antonio	1 752	San Antonio	Pueblo	499	76°24'24"	06°24'34"
Sauce	6 625	Sauce	Pueblo	622	76°12'60"	06°41'26"
Shapaja	2 059	Shapaja	Pueblo	214	76°15'43"	06°34'47"
Tocache	76 824					
Tocache	30 566	Tocache	Villa	519	76°30'34"	08°11'18"
Nuevo Progreso	12 641	Nuevo Progreso	Pueblo	512	76°19'35"	08°27'02"
Pólvora	11 138	Pólvora	Pueblo	543	76°40'04"	07°54'28"
Shunte	1 392	Tambo de Paja	Pueblo	1 015	76°43'47"	08°21'06"
Uchiza	14 838	Uchiza	Pueblo	566	76°27'42"	08°27'30"
Santa Lucía 1/	6 249	Santa Lucía	Ciudad	507	73°23'14"	08°20'43"

Figura 1. Población del Distrito de Morales

Fuente: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1809/libro.pdf

2.3.2 Muestra/ muestreo

Para Hernández, et al., (2014) dentro del conjunto población se encuentra un subconjunto representativo de esta, donde los resultados se pueden extrapolar a toda la población, debido a que es una proporción estadísticamente significativa. Para la investigación en curso, se utilizó el muestreo no probabilístico, que no es más que seleccionar la muestra a partir de las necesidades del investigador, inherentes a sus propósitos (Hernández, et al., 2014, p. 176). Entonces, para calcular la muestra, se utilizó la siguiente fórmula:

Ecuación estadística para proporciones poblacionales

$$n = \frac{Z^2(p * q)}{e^2 + \frac{(Z^2(p * q))}{N}}$$

Donde:

- n: Tamaño de la muestra
- Z: nivel de confianza deseado
- p: Proporción de la población con la característica deseada (éxito)
- q: Proporción de la población sin la característica deseada (fracaso)
- e: Nivel de error dispuesto a cometer
- N: Tamaño de la población

En nuestra investigación:

- Margen de error: 10%
- Nivel de confianza: 99%
- Tamaño de Población: 44 851 Hab.

Tamaño de la muestra: 165 habitantes del Distrito de Morales, esta muestra se utilizó para la encuesta de los habitantes del Distrito. Por su parte, para la encuesta de los trabajadores, se consideró la población en su totalidad, por ser relativamente pequeña, donde se utilizó el muestreo por conveniencia. Por lo que la muestra quedó conformada por el personal del área de Gestión Ambiental de la Municipalidad Distrital de Morales, 12 personas de la unidad encargada de la gestión de residuos sólidos.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.4.1 Técnicas

Para Hernández, et al., (2014) son los métodos que se emplean en el proceso de investigación para la recopilación de la información desde diversas fuentes, como las primarias y secundarias. Para la presente investigación se utilizaron como técnicas: la observación directa, realizada in situ por parte del investigador, La revisión bibliográfica. Y la encuesta, la cual se aplicó a los habitantes del Distrito de Morales.

2.4.2 Instrumentos

Para Hernández, et al., (2014) los instrumentos de recolección de datos son los recursos con los que cuenta el investigador para tener un contacto directo con el fenómeno de estudio con el propósito de recopilar información para dar respuesta a los objetivos originalmente planteados. En la presente investigación se utilizaron como instrumentos:

- **Guía de observación directa**, formato diseñado por el investigador para recopilar información de las variables del estudio in situ.
- **Revisión bibliográfica**, formato diseñado por el investigador para recopilar información de las fuentes secundarias sobre las variables del estudio, a través del método del embudo, donde se observa la problemática en tres contextos: macro, meso y micro.
- **Cuestionario de encuesta**; preguntas cerradas diseñadas para diagnosticar el estado del al ruteo vehicular en la recolección de basura de la Municipalidad Distrital de Morales.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Diagnostico de la problemática observación directa

La basura siempre ha existido por comprender los desechos que el individuo diariamente produce para la satisfacción de sus necesidades, a mayor población mayor será la cantidad de residuos que se generan diariamente, lo que lo convierte en una problemática con urgente atención. Esta problemática radica en dos fenómenos estrechamente relacionados, el primero corresponde a la expansión humana a partir de tres factos claves, a saber: ocupación, explotación y predominio de la especie. Y el segundo, la producción consumo-industrial-capitalista (Armendariz, Pachi, & Arcos, 2018).

Los residuos sólidos impactan directa e indirectamente sobre el ambiente, y, en suma, afecta la salud de las masas cuando no tiene un tratamiento debido. Pues, el problema no es solo la generación de los desechos, sino más bien, de su transformación y aprovechamiento, lo que implica un alto nivel de complejidad su transporte hasta su destino final (Becerra & Alvarado, 2018). A este ruteo de vehículos no se le ha dado la importancia respectiva, sin aplicar métodos requeridos para su eficiente gestión. Más termina siendo acuerdos internos regidos por los patrones de cada municipio de acuerdo con su necesidad y capacidad, lo cual no resulta siendo lo óptimo. Por lo general carecen de una organización proporcional sin justificación operativa que justifique la designación de las rutas.

A razón de establecer un contexto de la problemática en ámbito internacional, luego de la revisión bibliográfica se pudo observar que, México, por ejemplo, enfrenta una terrible problemática éste es el caso de la capital del estado de San Luis Potosí y su área metropolitana que incluye a dos municipios: San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez. Las urbes como San Luis Potosí afrontan retos especiales en el manejo de los residuos sólidos, puesto que dos fenómenos asociados no han sido dimensionados apropiadamente: la expansión urbana y la generación de mayores volúmenes de basura. Para entender cómo se afronta la problemática de la basura producida en la capital de San Luis Potosí es necesario exponer las condiciones de su generación y su manejo. Hasta mediados de 2008 el servicio municipal de recolección y transporte trabajaba en tres turnos: matutinos, vespertinos y nocturno, con una infraestructura de 35 a 38 camiones. En el proceso de recolección también participan los recolectores voluntarios y algunas empresas privadas,

que trabajaban directamente para la industria y comercios mediante contrato, siendo esto acciones como parte de la solución del problema (Guzmán, 2011).

Ahora bien, para el contexto nacional, según RPP (2018) EN Perú se generan 18 mil 500 toneladas de desechos diarios, la cual concentra en más de un 50% en Lima y Callao. En otras zonas como el caso del distrito de José Leonardo Ortiz, en la provincia de Chiclayo, la basura permanece en las calles ante la falta de recolectores. Asimismo, el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, en Arequipa, donde la gente arroja sus desechos en lugares inadecuados de la vía pública. En virtud de estas situaciones, se promulgó la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos en el año 2017, enfocada en el reciclaje, la cual no se aplica en su totalidad.

Finalmente, en el contexto local, se menciona que, para efectos del presente estudio, el Distrito de Morales fue la unidad de análisis. El cual atraviesa por serias situaciones que denotan la debilidad referida a la gestión de los desechos que generan diariamente sus habitantes. Esto, justifica el uso de herramientas de investigación operativa como parte importante en la planificación de dichos sistemas pues, el coste del transporte se estima entre un 10% y un 20% del coste total del servicio.

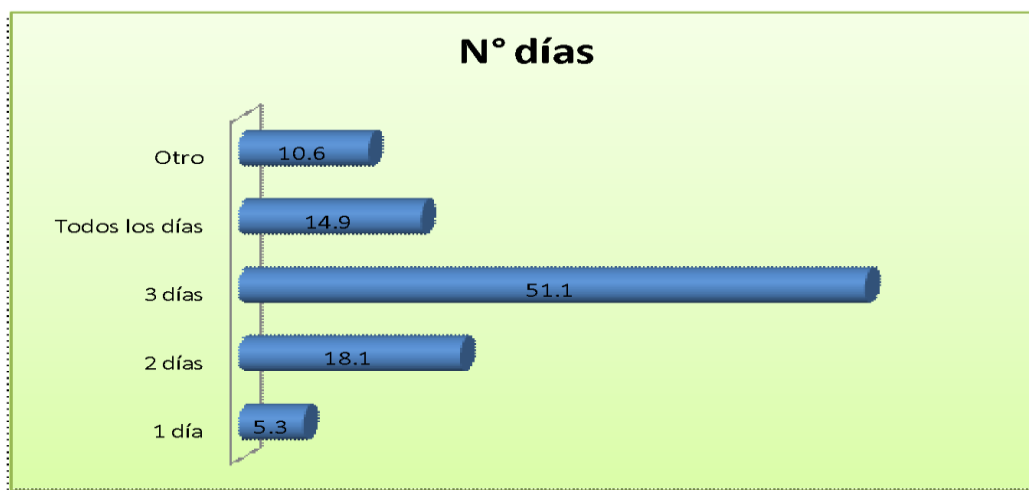


Figura 2. Cantidad de días que demoran en llenar el recipiente

Fuente: Observación directa del investigador, 2021

En la figura 2, se muestra que los envases que usan los pobladores para acumular sus residuos sólidos se llenan en 3 días (51.1%) seguido de cada 2 días (18.1%) y todos los días (14.9%). La figura 3, indica las veces a la semana que se recoge los residuos sólidos de las viviendas:



Figura 3. Recojo semanal de los residuos

Fuente: Observación directa del investigador, 2021

La figura 3, se observa que el vehículo recolector pasa cada 2 días a la semana por su sector (40.0%), en menor porcentaje (36.7%) indica que pasa cada 3 días a la semana y el 15.6% indica que pasa 1 vez a la semana. Se puede afirmar entonces, que del 21.2% de la población tiene ciertos problemas con la basura puesto que la recolección de sus residuos sólidos es recogida a más de 3 días. En la figura 4 se observa el tipo de vehículo que recoge los residuos sólidos de las viviendas:

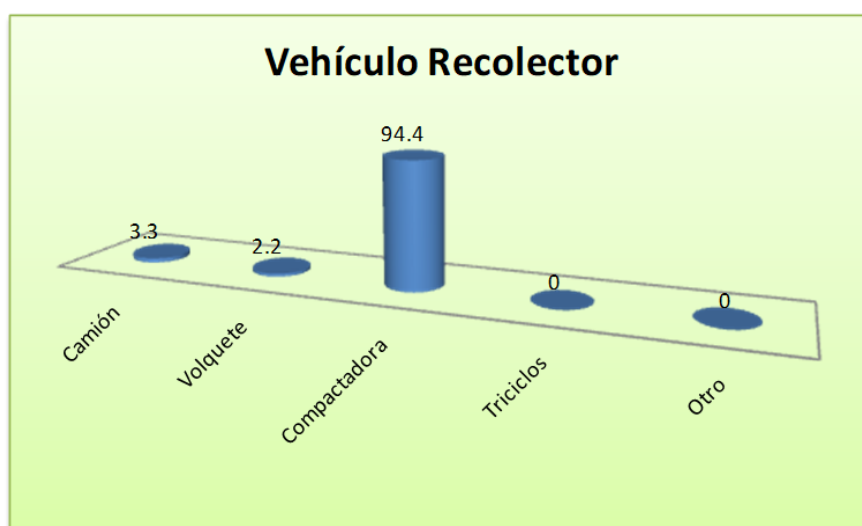


Figura 4. Tipo de vehículo recolector

Fuente: observación directa del investigador, 2021

En la figura 4 se observa se muestra que, en relación al tipo de vehículo que recoge los residuos, el 94.4% corresponde a la compactadora, el 3.3% al camión y el 2.2% al volquete.

3.2 Resultado de la encuesta aplicada a los habitantes

Identificar las características del manejo de desechos sólidos domiciliarios en el Distrito de Morales.

Tabla 2.

Dimensión: Generación de residuos sólidos

Nivel Dimensión	Intervalo	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Malo	15-25	42	25%
Regular	26-35	52	32%
Bueno	36-45	71	43%
Total		165	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

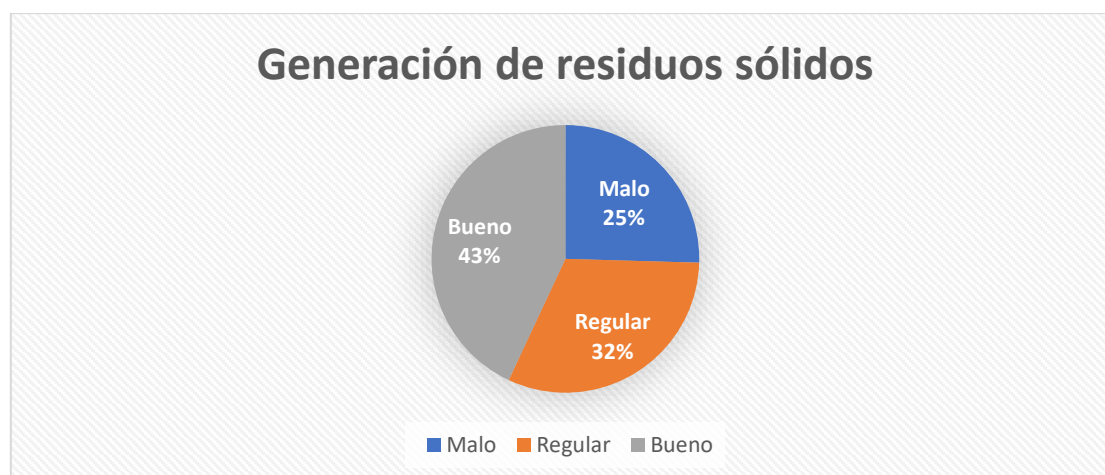


Figura 5. Dimensión: **Generación de residuos sólidos**

Fuente: Tabla 2

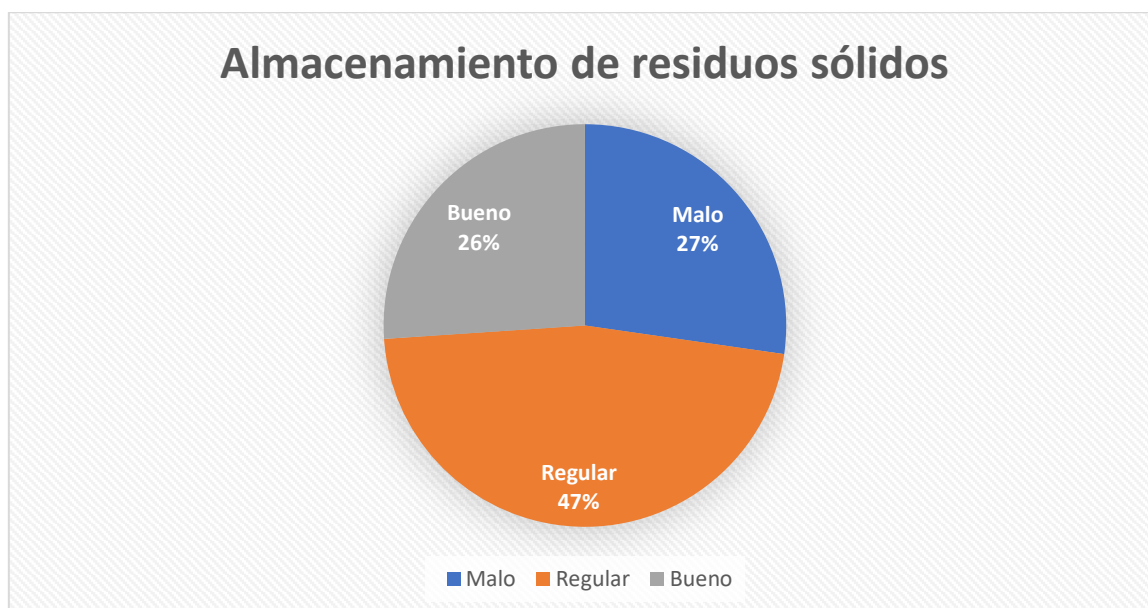
Interpretación:

En la tabla 2, se observa que, de los 165 habitantes encuestados, el 25% considera a la generación de desechos sólidos como mala, un 32% se inclinó por la opción regular, mientras que, el 43% se mostró a favor de la opción bueno, indicando que la cantidad de residuos generada en el distrito de Morales es de buena proporción o cantidad.

Tabla 3.*Dimensión: Almacenamiento de residuos sólidos*

Nivel Dimensión	Intervalo	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Malo	15-25	45	27%
Regular	26-35	77	47%
Bueno	36-45	43	26%
Total		165	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

**Figura 6.** Dimensión: Almacenamiento de residuos sólidos

Fuente: Tabla 3

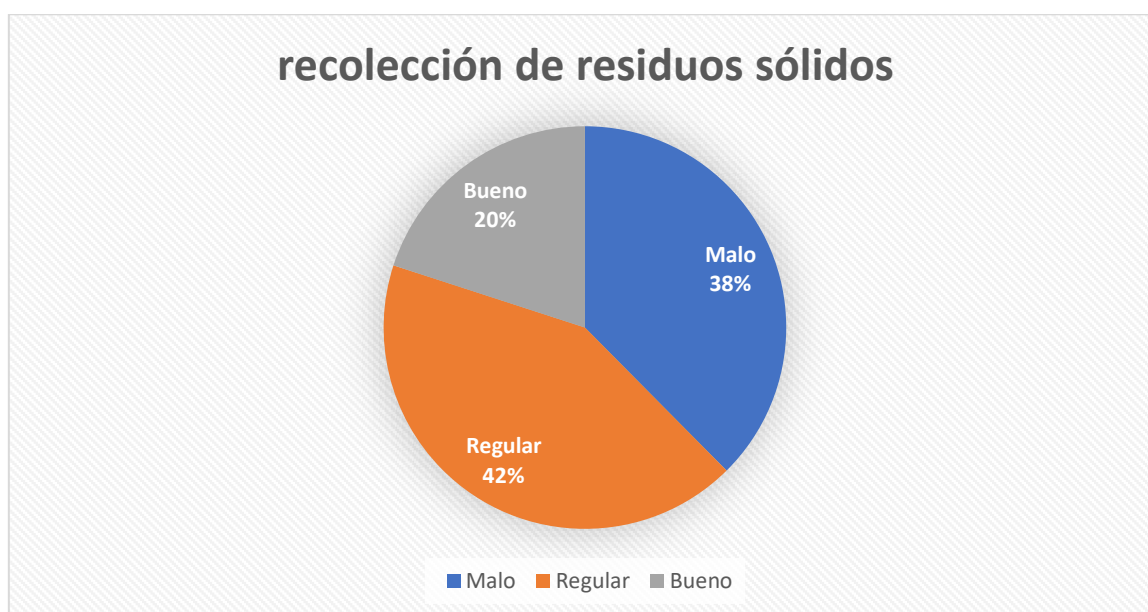
Interpretación:

En la tabla 3, se observa que, de los 165 habitantes encuestados, el 27% considera al almacenamiento de desechos sólidos como malo, un 47% se inclinó por la opción regular, mientras que, el 26% se mostró a favor de la opción bueno, quedando en evidencia que en esta dimensión se requiere de la implementación de estrategias apropiadas para asegurar un buen almacenamiento de los residuos generada en el distrito de Morales que luego debe ser recogido de acuerdo con el ruteo establecido.

Tabla 4.*Dimensión: Recolección de residuos sólidos*

Nivel Dimensión	Intervalo	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Malo	15-25	62	38%
Regular	26-35	70	42%
Bueno	36-45	33	20%
Total		165	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

**Figura 7.** Dimensión: **Recolección de residuos sólidos**

Fuente: Tabla 4

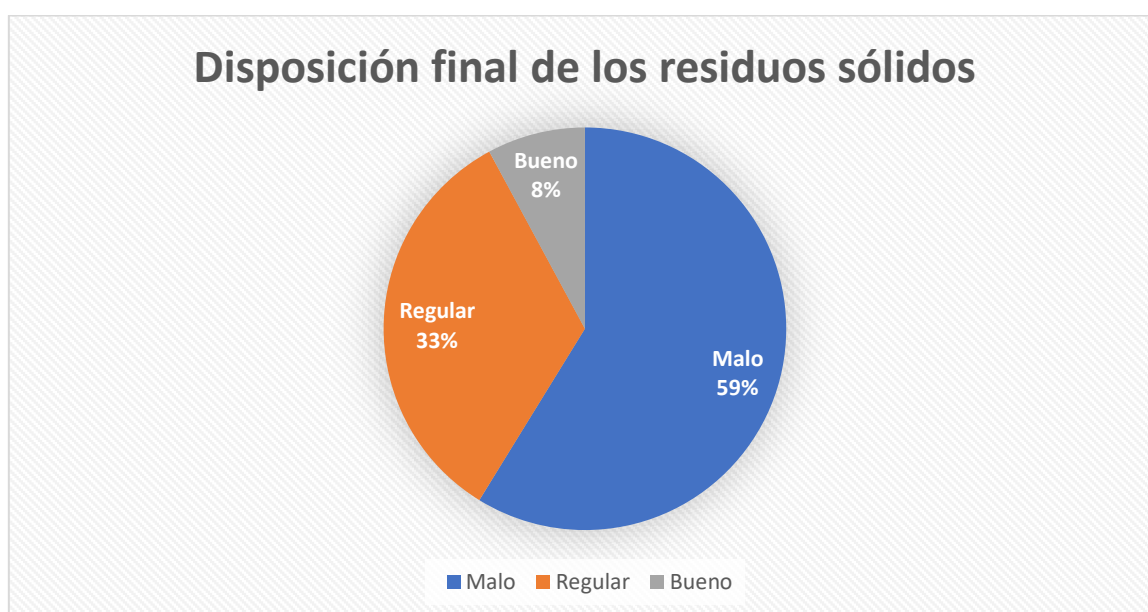
Interpretación:

En la tabla 4, se observa que, de los 165 habitantes encuestados el 38% considera a la recolección de desechos sólidos como mala, un 42% se inclinó por la opción regular, mientras que, el 20% se mostró a favor de la opción bueno, quedando en evidencia la carencia de estrategias apropiadas que de una buena cobertura de recojo de los residuos generados en el distrito de Morales.

Tabla 5.*Dimensión: Disposición final de los residuos sólidos*

Nivel Dimensión	Intervalo	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Malo	15-25	97	59%
Regular	26-35	55	33%
Bueno	36-45	13	8%
Total		165	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

**Figura 8.** Dimensión: **Disposición final de los residuos sólidos**

Fuente: Tabla 5

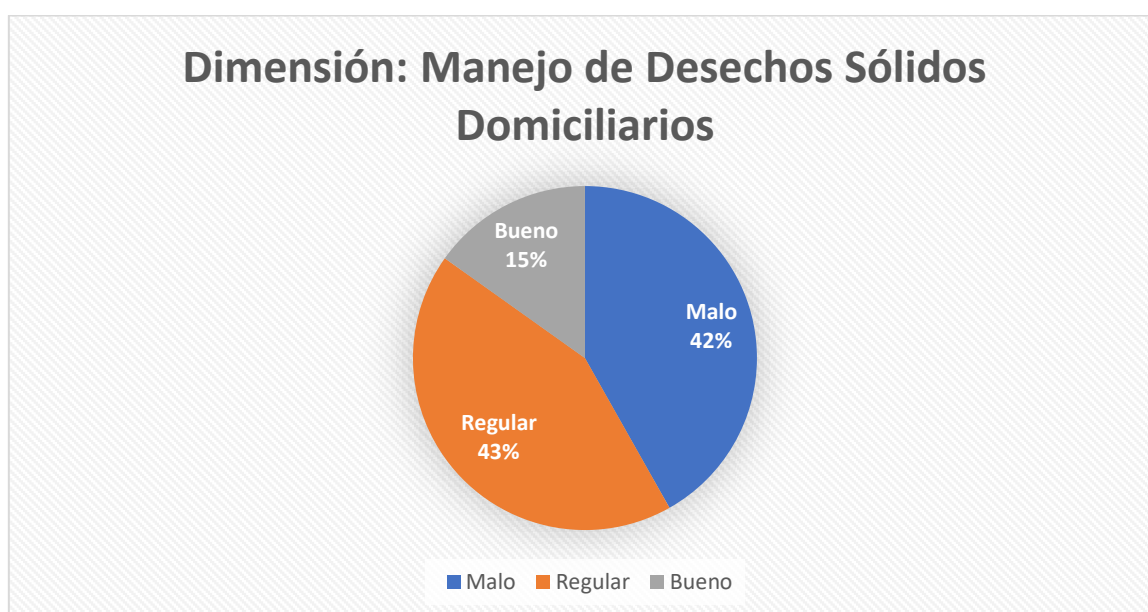
Interpretación:

En la tabla 5, se observa que, de los 165 habitantes encuestados el 59% considera a la disposición final de desechos sólidos como mala, un 33% se inclinó por la opción regular, mientras que, el 8% se mostró a favor de la opción bueno, quedando en evidencia que la disposición final de los desechos de la zona no es tratada de manera correcta poniendo en riesgo la salud de sus habitantes, y, a su vez afectando al ambiente.

Tabla 6.*Dimensión: Manejo de Desechos Sólidos Domiciliarios*

Nivel Dimensión	Intervalo	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Malo	15-25	69	42%
Regular	26-35	71	43%
Bueno	36-45	25	15%
Total		165	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

**Figura 9.** Dimensión: Manejo de Desechos Sólidos Domiciliarios

Fuente: Tabla 6

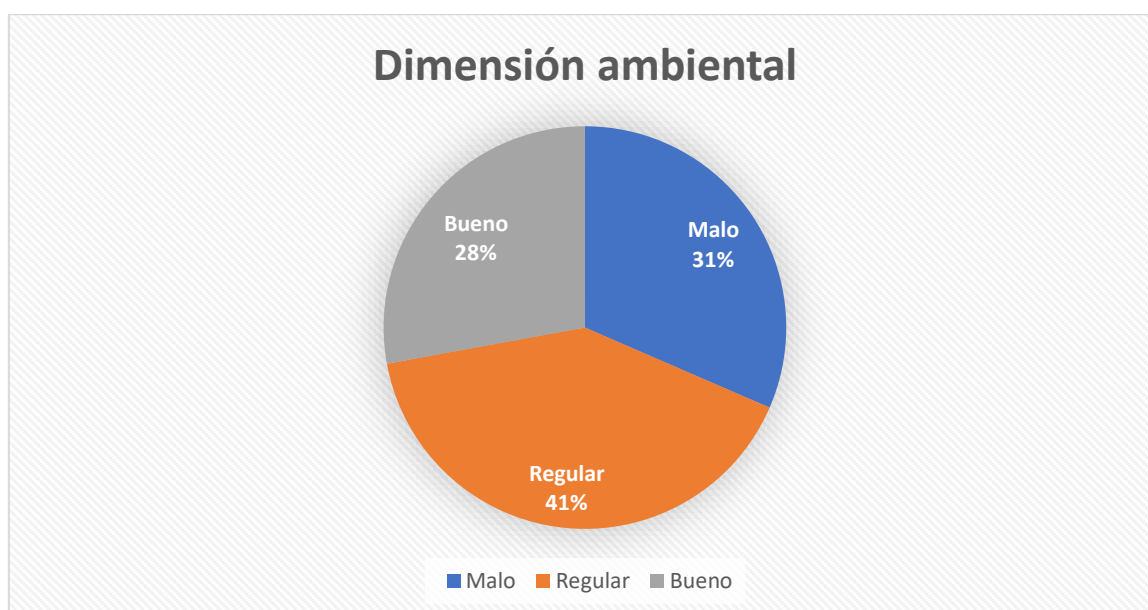
Interpretación:

En la tabla 6, se observa que, de los 165 habitantes encuestados el 42% considera al Manejo de Desechos Sólidos Domiciliarios como malo, un 43% se inclinó por la opción regular, mientras que, el 15% se mostró a favor de la opción bueno, lo que se deduce que los habitantes de la zona no reciben un servicio eficiente por parte de la Municipalidad Distrital en las diferentes etapas del proceso: recolección, transporte y disposición final.

Tabla 7.*Dimensión: Ambiental*

Nivel Dimensión	Intervalo	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Malo	15-25	52	31%
Regular	26-35	67	41%
Bueno	36-45	46	28%
Total		165	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

**Figura 10.** Dimensión: Ambiental

Fuente: Tabla 7

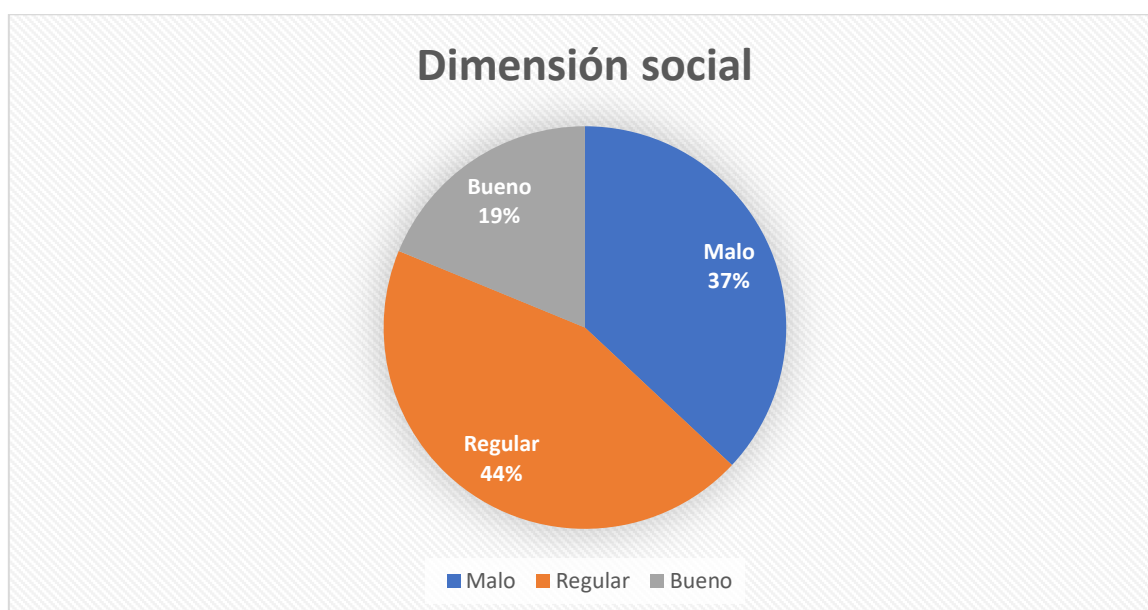
Interpretación:

En la tabla 7, se observa que, de los 165 habitantes encuestados el 31% considera a la gestión ambiental como mala, un 41% se inclinó por la opción regular, mientras que, el 28% se mostró a favor de la opción bueno, quedando en evidencia que la población no está debidamente familiarizada con los temas ambientales y el impacto que genera el mal manejo de los desechos sólidos domiciliarios.

Tabla 8.*Dimensión: Social*

Nivel Dimensión	Intervalo	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Malo	15-25	61	37%
Regular	26-35	73	44%
Bueno	36-45	31	19%
Total		165	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

**Figura 11.** Dimensión: Social

Fuente: Tabla 8

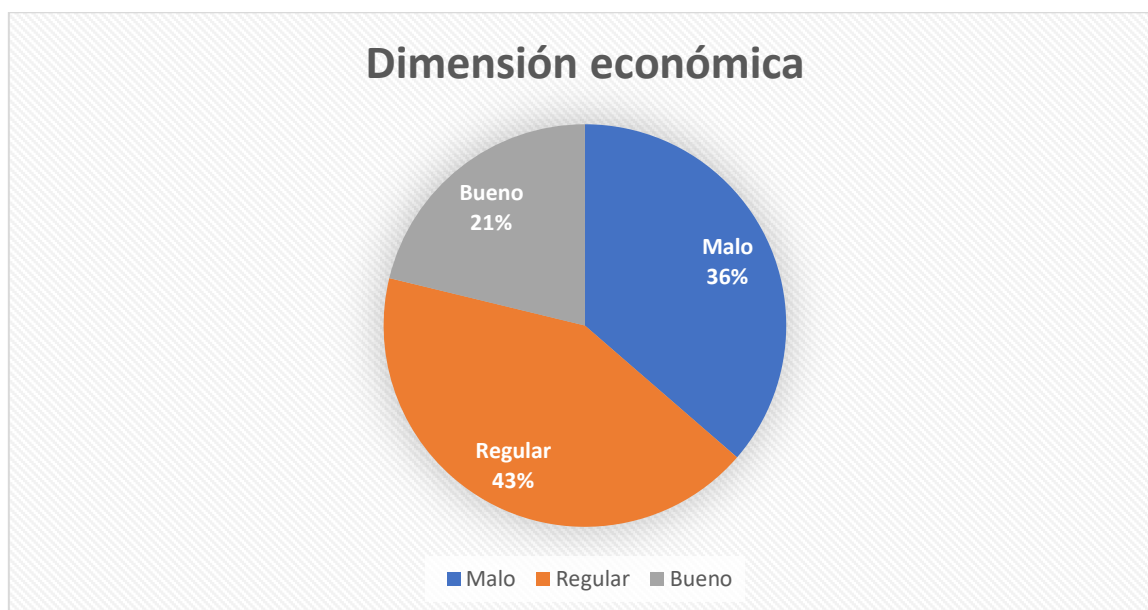
Interpretación:

En la tabla 8, se observa que, de los 165 habitantes encuestados el 37% considera a la gestión social como mala, un 44% se inclinó por la opción regular, mientras que el 19% se mostró a favor de la opción bueno, quedando en evidencia que la población está en completa disposición de mejorar la situación, basados en las afectaciones directa que ejerce sobre la salubridad de la zona.

Tabla 9.*Dimensión: Económica*

Nivel Dimensión	Intervalo	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Malo	15-25	60	36%
Regular	26-35	70	43%
Bueno	36-45	35	21%
Total		165	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

**Figura 12. Dimensión: Económica**

Fuente: Tabla 9

Interpretación:

En la tabla 9, se observa que, de los 165 habitantes encuestados el 36% considera a la gestión económica como mala, un 43% se inclinó por la opción regular, mientras que, el 21% se mostró a favor de la opción bueno, quedando en evidencia que no existe un gran presupuesto económico por lo que se necesita buscar soluciones que den buenos resultados, pero que a su vez esté acorde con los recursos económicos disponibles para tal fin.

3.3 Resultado de la encuesta aplicada al personal

Tabla 10.

1.- ¿Disponen de planos del Distrito?

Nivel Dimensión	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Si	5	41%
A veces	5	42%
No	2	17%
Total	12	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

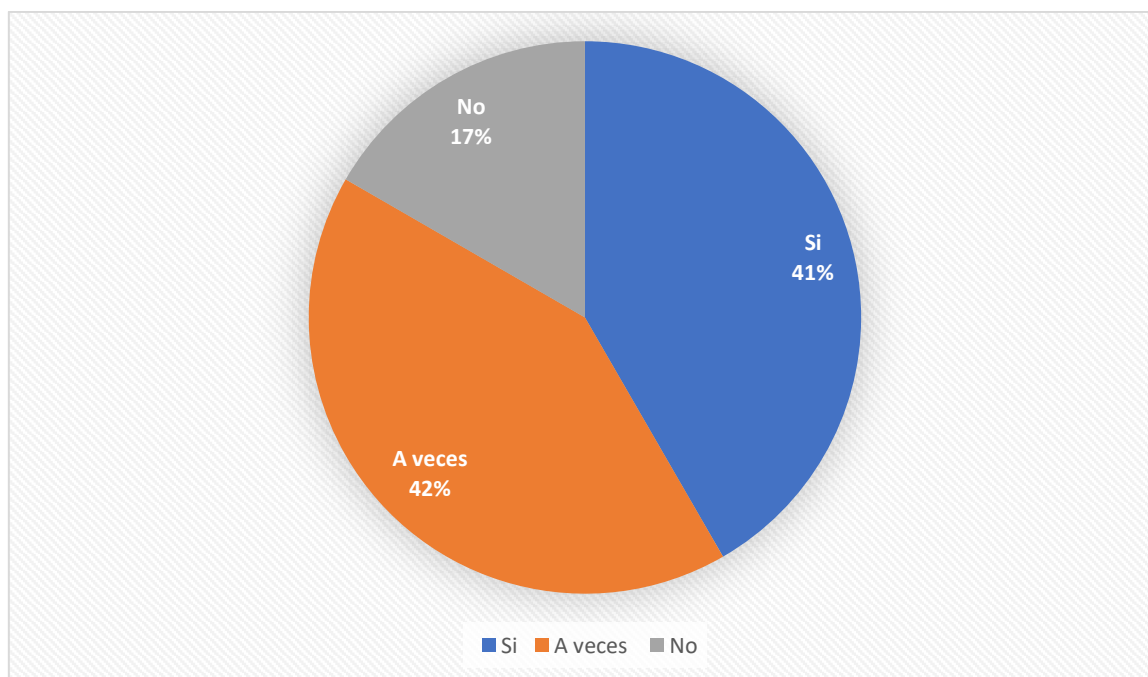


Figura 13. 1.- ¿Disponen de planos del Distrito?

Fuente: Tabla 10

Interpretación:

En la tabla 10, se observa que el 41% indicó que, si se dispone de planos del distrito, el 42% señaló que a veces y un 17% mencionó que no.

Tabla 11.

2.- ¿Poseen Diagramas del Recojo de Residuos Sólidos del Distrito?

Nivel Dimensión	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Si	4	33%
A veces	6	50%
No	2	17%
Total	12	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

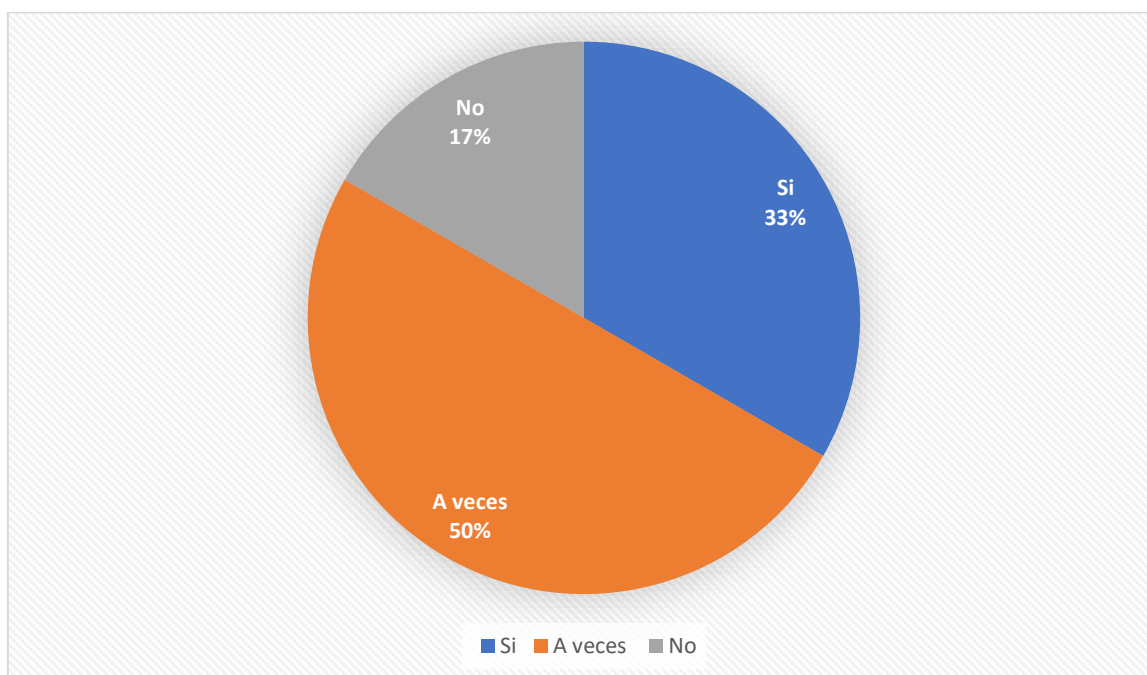


Figura 14. 2.- ¿Poseen Diagramas del Recojo de Residuos Sólidos del Distrito?

Fuente: Tabla 11

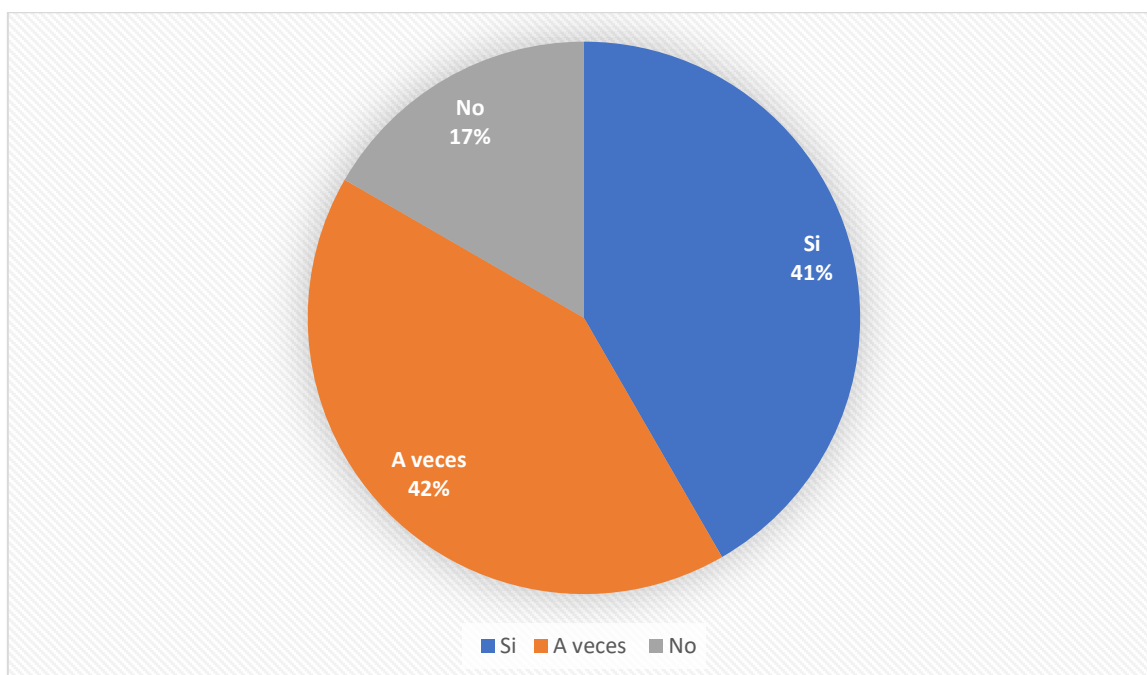
Interpretación:

En la tabla 11, se observa que el 33% indicó que, si poseen diagramas del recojo de residuos sólidos del distrito, el 50% señaló que a veces y un 17% mencionó que no disponen de planos.

Tabla 12.3.- *¿Disponen de Planos de Sectorización?*

Nivel Dimensión	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Si	5	41%
A veces	5	42%
No	2	17%
Total	12	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

**Figura 15.** 3.- *¿Disponen de Planos de Sectorización?*

Fuente: Tabla 12

Interpretación:

En la tabla 12, se observa que el 41% indicó que, si disponen de planos de sectorización, el 42% señaló que a veces y un 17% mencionó que no.

Tabla 13.

4.- ¿Poseen manuales de procedimientos para el Recojo de Residuos Sólidos?

Nivel Dimensión	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Si	2	17%
A veces	5	41%
No	5	42%
Total	12	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

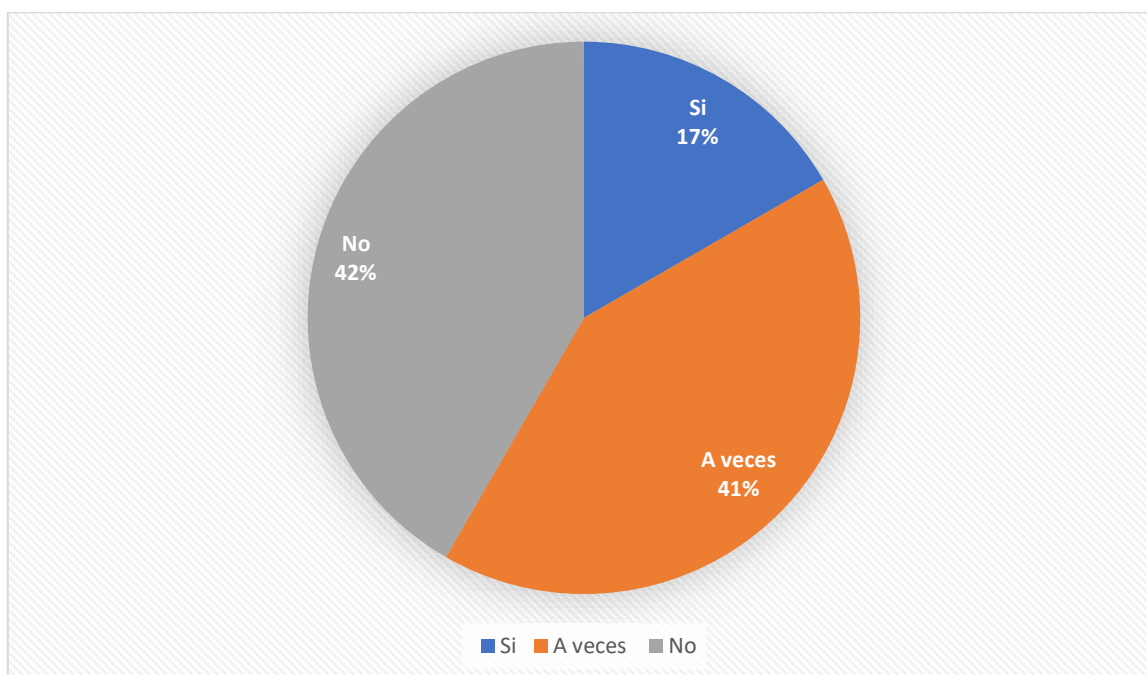


Figura 16. 4.- ¿Poseen manuales de procedimientos para el Recojo de Residuos Sólidos?

Fuente: Tabla 13

Interpretación:

En la tabla 13, se observa que el 17% indicó que, si poseen manuales de procedimientos para el recojo de residuos sólidos, el 41% señaló que a veces y un 42% mencionó que no.

Tabla 14.

5.- ¿Controlan el registro de producción del servicio por día?

Nivel Dimensión	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Si	2	17%
A veces	4	33%
No	6	50%
Total	12	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

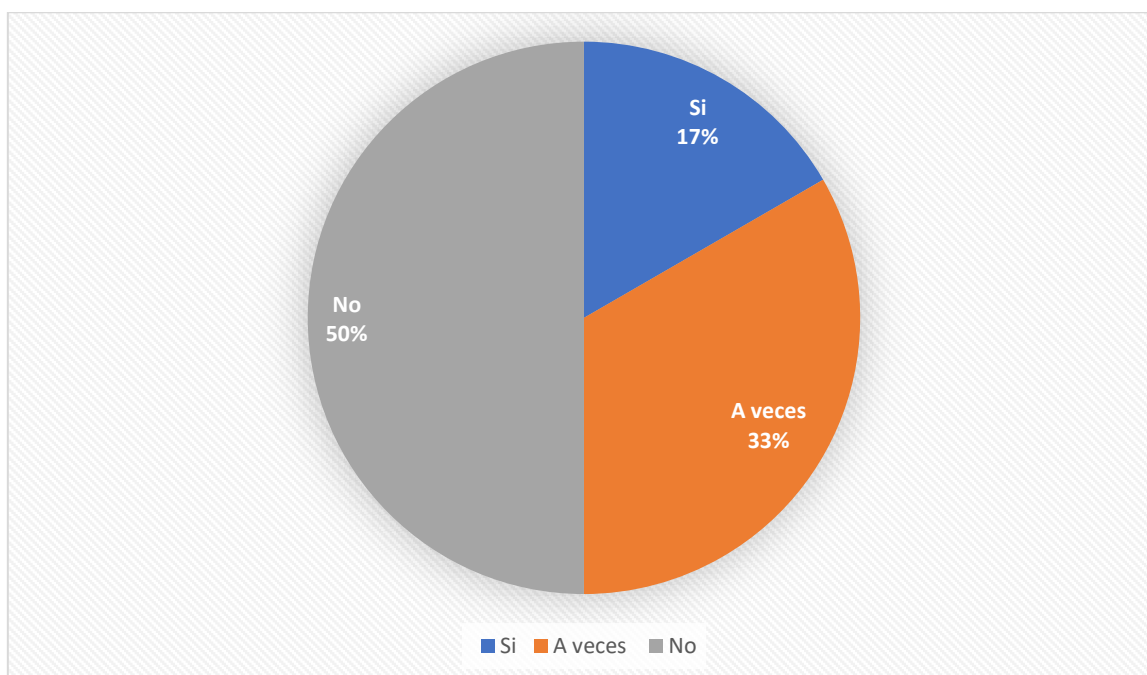


Figura 177. 5.- ¿Controlan el registro de producción del servicio por día?

Fuente: Tabla 14

Interpretación:

En la tabla 14, se observa que el 17% indicó que, si controlan el registro de producción del servicio por día, el 33% señaló que a veces y un 50% mencionó que no.

Tabla 15.

6.- ¿Llevan un registro de la disponibilidad de las unidades recolectoras?

Nivel Dimensión	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Si	2	17%
A veces	6	50%
No	4	33%
Total	12	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

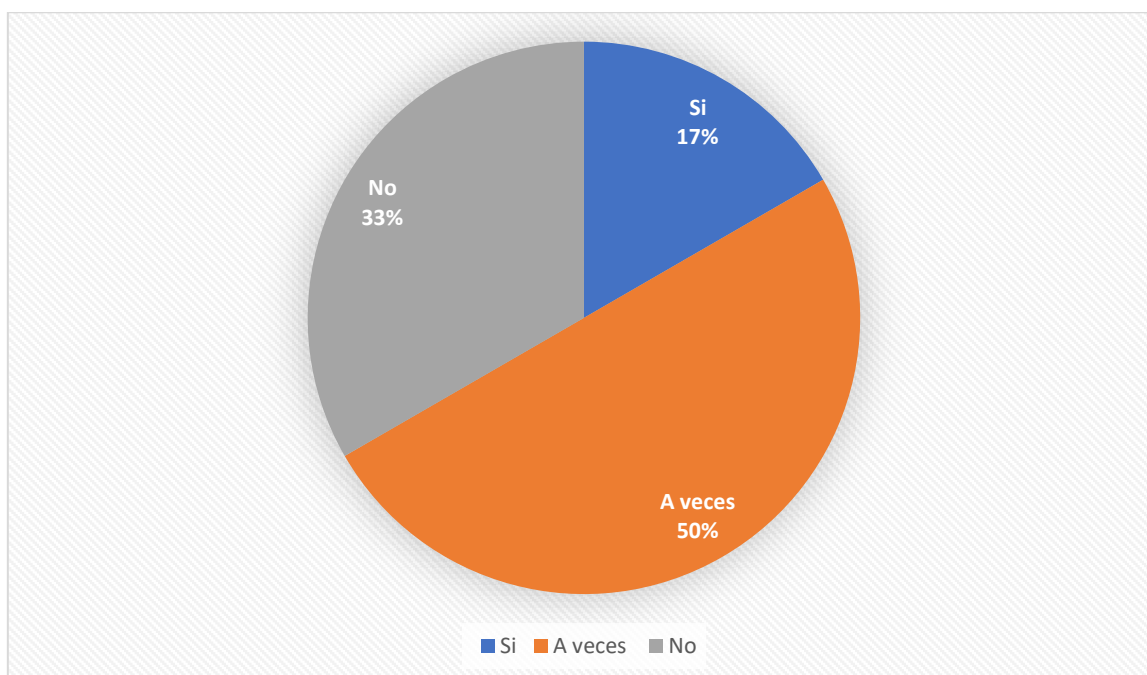


Figura 18. 6.- ¿Llevan un registro de la disponibilidad de las unidades recolectoras?

Fuente: Tabla 15

Interpretación:

En la tabla 15, se observa que el 17% indicó que, si llevan un registro de la disponibilidad de las unidades recolectoras, el 50% señaló que a veces y un 33% mencionó que no.

Tabla 16.

7.- ¿Se introduce constantemente la tecnología para mejorar las operaciones?

Nivel Dimensión	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Si	1	8%
A veces	2	17%
No	9	75%
Total	12	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

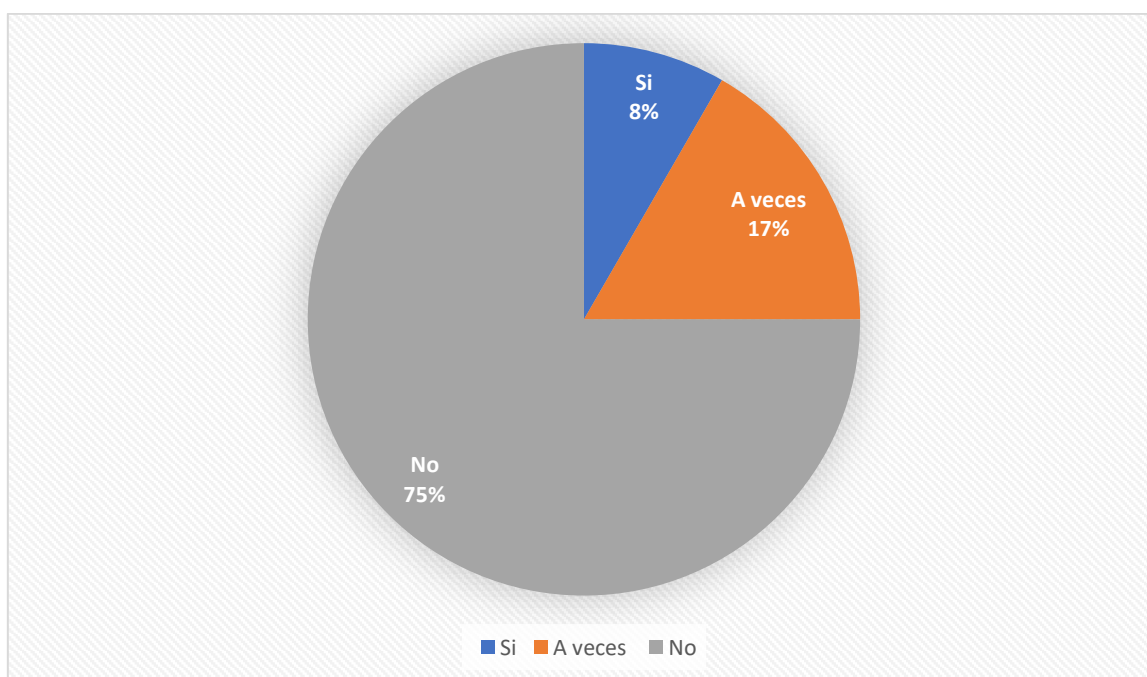


Figura 19. 7.- ¿Se introduce constantemente la tecnología para mejorar las operaciones?

Fuente: Tabla 16

Interpretación:

En la tabla 16, se observa que el 8% indicó que, si se introduce constantemente la tecnología para mejorar las operaciones, el 17% señaló que a veces y un 75% mencionó que no.

Tabla 17.

8.- ¿Usan algoritmos u otros sistemas para optimizar el proceso de recojo?

Nivel Dimensión	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Si	2	16%
A veces	2	17%
No	8	67%
Total	12	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

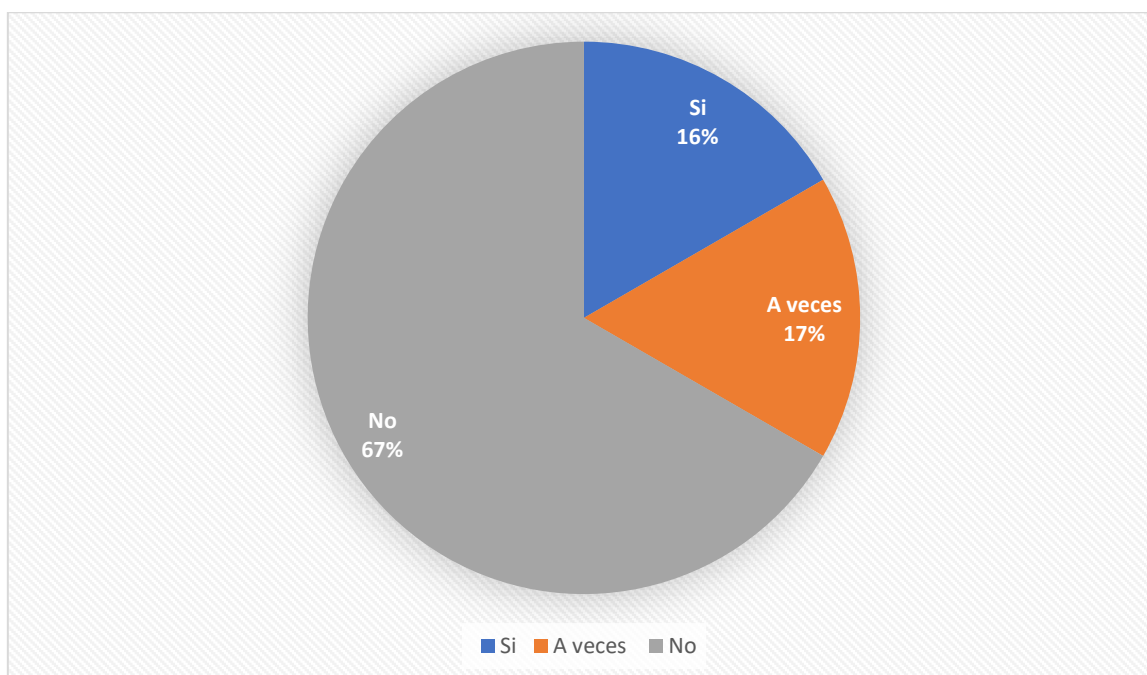


Figura 20. 8.- ¿Usan algoritmos u otros sistemas para optimizar el proceso de recojo?

Fuente: Tabla 17

Interpretación:

En la tabla 17, se observa que el 16% indicó que, si usan algoritmos u otros sistemas para optimizar el proceso de recojo, el 17% señaló que a veces y un 67% mencionó que no.

Tabla 18.

9.- ¿Se preocupan por mejorar el ruteo de recolección de residuos?

Nivel Dimensión	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Si	1	8%
A veces	4	34%
No	7	58%
Total	12	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

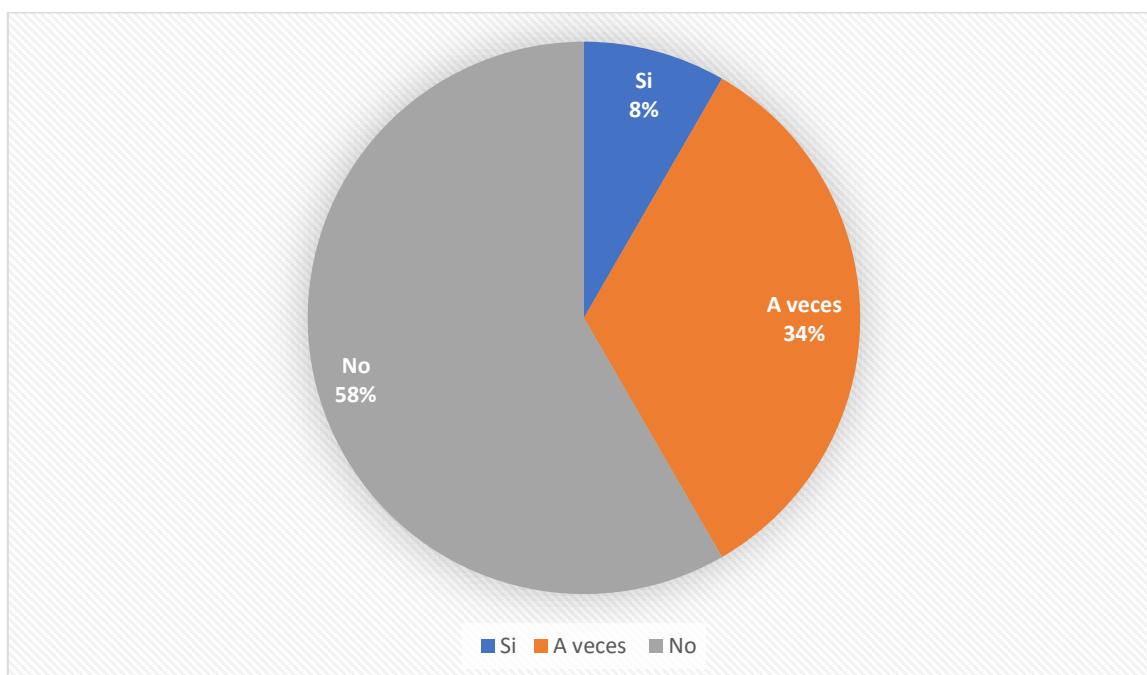


Figura 21. 9.- ¿Se preocupan por mejorar el ruteo de recolección de residuos?

Fuente: Tabla 18

Interpretación:

En la tabla 18, se observa que, el 8% indicó que, si se preocupan por mejorar el ruteo de recolección de residuos, el 34% señaló que a veces y un 58% mencionó que no.

Tabla 19.

10.- ¿En la actualidad se requiere de algoritmos para optimizar los procesos?

Nivel Dimensión	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Si	9	75%
A veces	1	8%
No	2	17%
Total	12	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

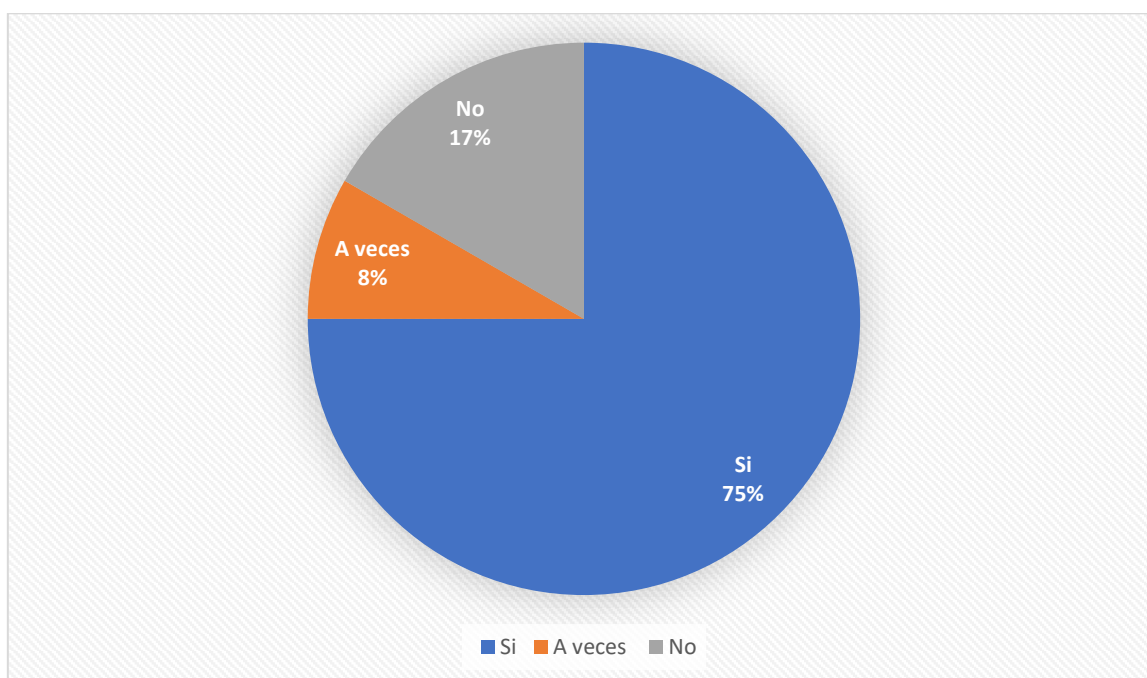


Figura 22. 10.- ¿En la actualidad se requiere de algoritmos para optimizar los procesos?

Fuente: Tabla 19

Interpretación:

En la tabla 19, se observa que el 75% indicó que, si en la actualidad se requiere de algoritmos para optimizar los procesos, el 8% señaló que a veces y un 17% mencionó que no.

Tabla 20.

11.- ¿Tiene conocimiento del uso de los algoritmos?

Nivel Dimensión	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Si	5	42%
A veces	4	33%
No	3	25%
Total	12	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

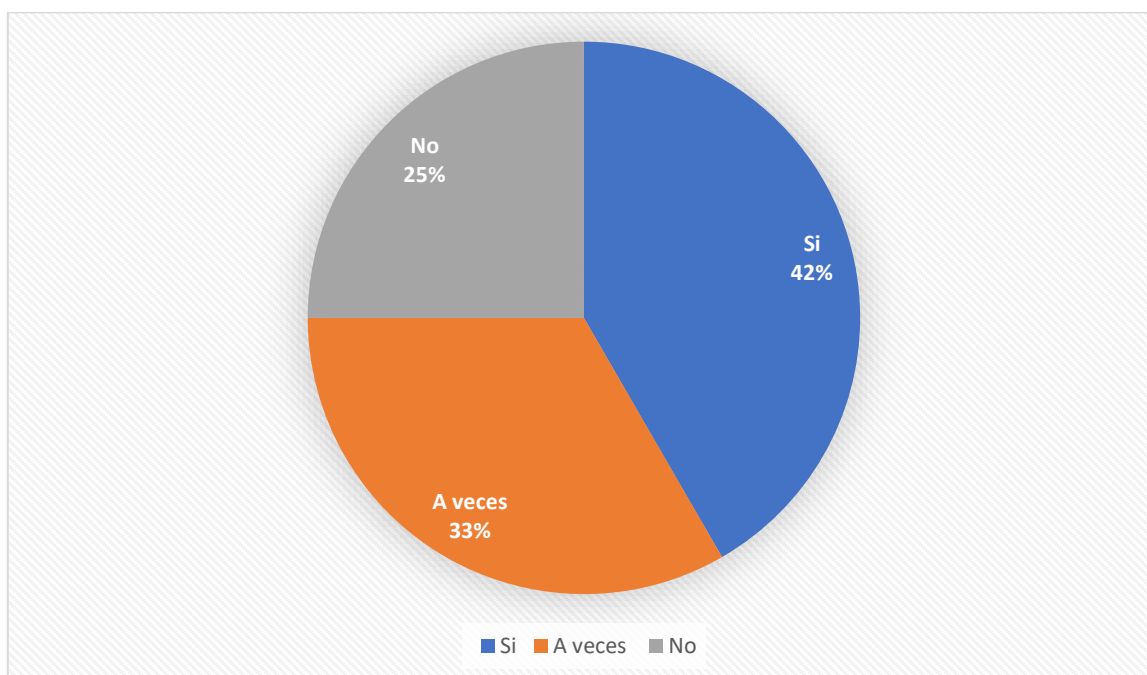


Figura 23. 11.- ¿Tiene conocimiento del uso de los algoritmos?

Fuente: Tabla 20

Interpretación:

En la tabla 20, se observa que el 42% indicó que, si tiene conocimiento del uso de los algoritmos, el 33% señaló que a veces y un 25% mencionó que no.

Tabla 21.

12.- ¿Disponen de los equipos necesarios para la introducción de algoritmos u otros sistemas tecnológicos?

Nivel Dimensión	Nivel de Frecuencia	Porcentaje Total
Si	7	42%
A veces	4	33%
No	1	25%
Total	12	100%

Fuente: Encuesta aplicada, 2021

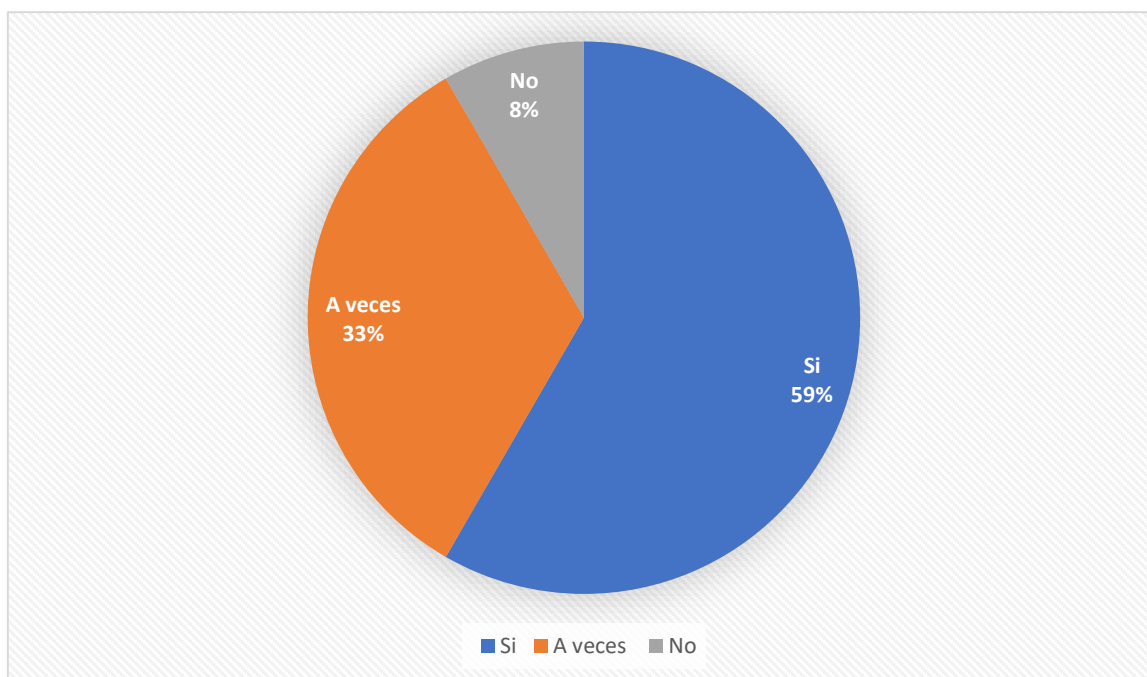


Figura 24. 12.- ¿Disponen de los equipos necesarios para la introducción de algoritmos u otros sistemas tecnológicos?

Fuente: Tabla 21

Interpretación:

En la tabla 5, se observa que el 59% indicó que, si disponen de los equipos necesarios para la introducción de algoritmos u otros sistemas tecnológicos, el 33% señaló que a veces y un 8% mencionó que no.

3.4 Contrastación de la hipótesis

Hipótesis alterna:

Con la aplicación de un algoritmo metaheurístico se mejorará el sistema de ruteo vehicular de recolección de basura en el Distrito de Morales.

Hipótesis nula:

Con la aplicación de un algoritmo metaheurístico no se mejorará el sistema de ruteo vehicular de recolección de basura en el Distrito de Morales.

Test de Student

Esteban (2012), indica que esta prueba permite establecer si existe o no relevancia del coeficiente de regresión de la ecuación; es decir, si la variable explicativa, algoritmo metaheurístico, influye de manera significativa en la variable explicada, sistema de ruteo de recolección de basura. Para ello, es necesitamos comparar la T calculada (T_c) del indicador de la variable explicativa y la T de tabla (T_t).

Para la verificación de la hipótesis, realizamos lo siguiente:

Nivel de significancia $\alpha=5\%$

Muestra= 12 trabajadores:

K = Algoritmo Metaheurístico

6 pre test sin K

6 post Test con K

Tabla 22.

Contrastación de la hipótesis – Prueba estadística

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Recolección de basura	Sin K	3,719	6	,00000	,320
	Con k	1,812	6	,81650	,480

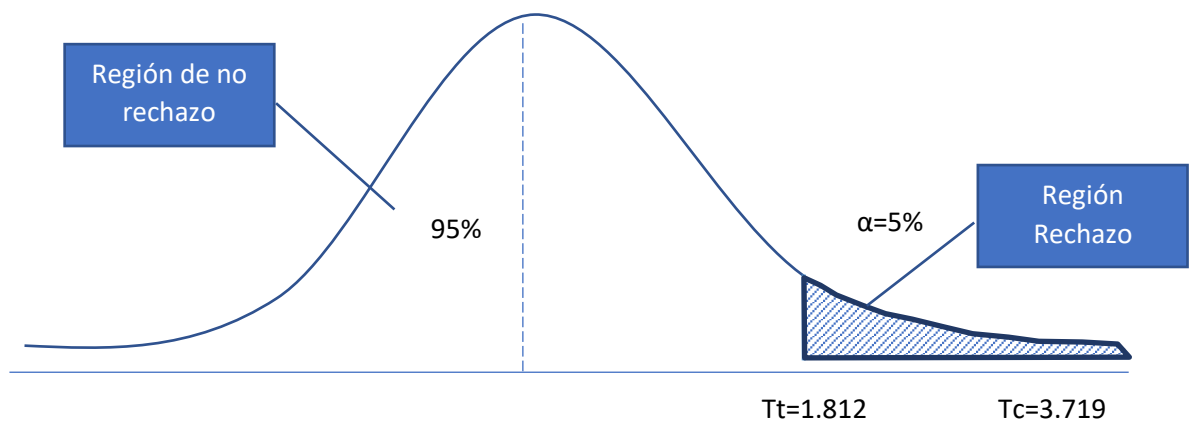


Figura 25. Representación gráfica de la prueba estadística
Fuente: Elaboración Propia

Se parte de lo siguiente:

Se rechaza la H_0 si: $T_c > T_t$ ó $-T_c < -T_t$

Se acepta la H_0 si: $T_c \leq T_t$ ó $-T_c \geq -T_t$

Debido a que, $T_c > T_t$ ($3.719 > 1.812$) y el nivel de significancia es de 5%, se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna

Conclusión:

Por consiguiente, se puede afirmar que con la aplicación de un algoritmo metaheurístico se logró mejorar el sistema de ruteo vehicular en la recolección de basura en el distrito de morales.

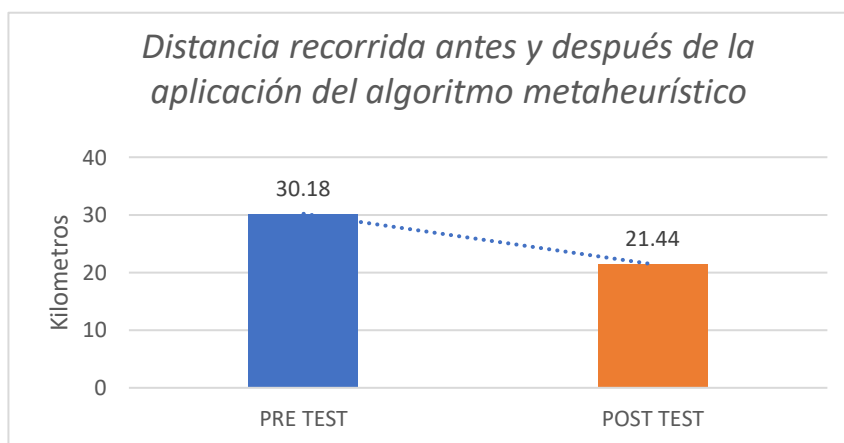


Figura 26. Distancia recorrida antes y después de la aplicación del algoritmo metaheurístico

Fuente: Elaboración propia

En la figura 26, se puede observar la diferencia de kilómetros recorridos por el método convencional y con la aplicación del algoritmo metaheurístico GRASP en la ruta de recolección, siendo de 30.48 km antes de la aplicación y de 21.44 km después de la aplicación. En ese sentido, la reducción de kilómetros en este proceso de recolección fue del 28.96% a comparación de el kilometraje de la ruta convencional.

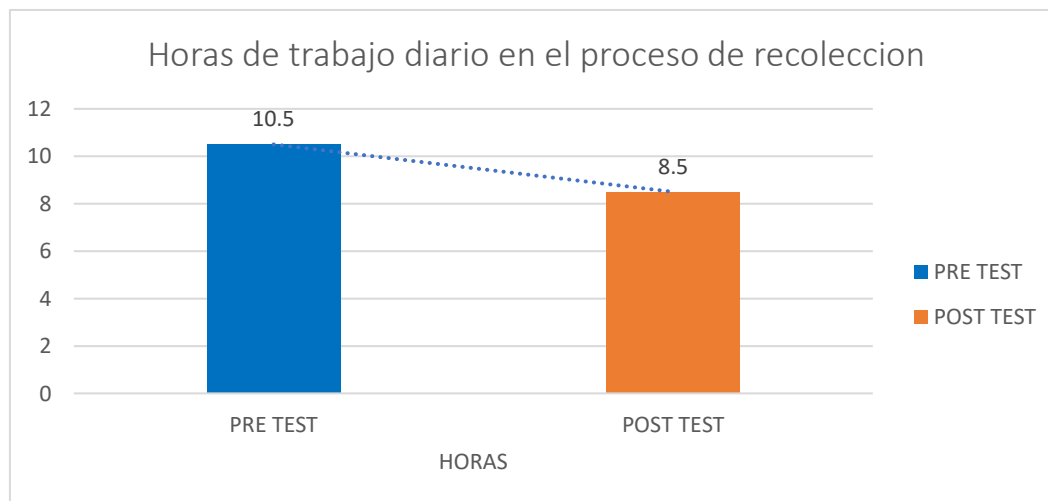


Figura 27. Horas de trabajo diario en el proceso de recolección

Fuente: Elaboración propia

En la figura 27, se puede observar la diferencia de horas recorridas por el método convencional y con la aplicación del algoritmo metaheurístico GRASP en la ruta de recolección, siendo de 10.5 horas antes de la aplicación y de 8.5 horas después de la aplicación. En ese sentido, las horas utilizadas para la recolección se redujeron en un considerable 10.04% en comparación con la cantidad de horas que se hacían con la ruta convencional.

3.5 Discusión de los resultados

La problemática sobre el manejo de los desechos domiciliarios se da a escala mundial, como consecuencia de diversos factores, evidenciando la carencia de estrategias que trabajen a la par de cantidad de desechos diarios, recogidos y procesados en una disposición final. Produciendo graves consecuencias para el ambiente y el deterioro de la salud de la población. Revisada el resultado de la encuesta, es notorio que el Distrito de Morales no escapa de esta terrible realidad.

Para este trabajo de investigación se encontraron resultados similares reflejados en los antecedentes:

Raggio (2021) ejecutó un estudio titulado: “*Un modelo y método metaheurístico, considerando elementos estocásticos para la recolección de residuos electrónicos en ciudades*”, concluyó que los métodos metaheurísticos planteados resultan tan efectivos como un método exacto, sobre todo cuando se tiene prontitud en obtener resultados destinados a la obtención de optimización de rutas de recolección de residuos electrónicos. Por su parte, Fermani, Rossit y Toncovich (2019) plasmó un estudio de título: “*Un estudio comparativo de algoritmos metaheurísticos sobre instancias reales de problemas de recolección de RSU*”, concluyeron que la implementación de los algoritmos mencionados ofrece resultados aceptables y competentes, debido a que presentan una ventaja relativa a la menor inversión de esfuerzo de cómputo necesario para alcanzar la solución eficiente al problema.

Asimismo, Cadena (2018) abordó una investigación titulada: “*Problemas de Optimización en la Gestión Logística de Distribución: Una Revisión de Literatura de la Solución del Problema de Ruteo de Vehículos – VRP*”, concluyó que la gestión de transporte debe estar acompañada de modelos de carácter dinámico, en la cual se utilicen modelos idealizados en las literaturas a los que se les incorpore técnicas de optimización, herramientas hardware y software y todas las personas y necesidades involucradas en el proceso que faciliten la toma de decisiones logísticas y que integre las condiciones actualizadas y elimine la robustez hallada en modelos estándares idealizados, en sí, un modelo que mejor se adapte a la realidad y que facilite la optimización de los procesos. Soto, Solarte y Muñoz (2018) realizaron un estudio titulado “*Localización del punto óptimo de partida en el problema de ruteo vehicular con capacidad restringida (CVRP)*”, concluyó que, la metodología híbrida consistente en la resolución del problema respectivo a la ubicación, ruteo y reducción de costos del traslado y recolección de residuos sólidos ofrece resultados óptimos y mejores que los que se emplean con anterioridad.

Miniguano (2018) llevó a cabo un estudio en la ciudad de Quito, Ecuador, titulado: “*Algoritmos Metaheurísticos para un problema de Planificación de Rutas Vehiculares y Pedestres*”, concluye que, las rutas vehiculares y pedestres desarrolladas con algoritmos metaheurísticos se pueden planificar de manera factible, sin pausa y ventanas de tiempo, lo que se traduce en la realización de una planificación con menos inversión de tiempo en días de trabajo.

En el plano nacional, se tiene a León y Quispe (2019) realizaron un estudio titulado: *“Mejoramiento del Sistema de Recojo de Residuos Sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018”*, concluyeron que la implementación de la herramienta programación lineal permite realizar la actividad de recolección de residuos sólidos de manera más metódica y organizada, del mismo modo, incrementa el rendimiento mediante el mejoramiento de las rutas, permitiendo así indicar que es factible su aplicación. Murillo (2018) ejecutó una investigación titulada: *“Modelo de Gestión de Residuos Sólidos basado en Programación Binaria y Simulación para reducir el Lead Time, Caso: Municipalidad de José Luis Bustamante y Rivero”*, concluyó que la intención de optimizar el tiempo que transcurre desde el punto de partida de los vehículos recolector hasta la disposición final de los residuos sólidos, mediante el modelo de programación binaria y la simulación de sistemas, se logró de manera factible y eficiente, puesto que, se minimizaron los Lead Time permitiendo así obtener un distrito más limpio.

Correa (2018) en su trabajo, *“Propuesta de mejora del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en el Distrito de Chiclayo para reducir los impactos ambientales”*, concluyó que el sistema empleado permitió minimizar en un 50% los costos de mano de obra y el tiempo empleado en la prestación del servicio, además, este tiempo sobrante pudo ser empleado para la atención de los puntos críticos, que conlleva a la obtención de beneficios ambientales, así como, reducción de emisiones de CO₂ y ahorros de consumo de combustible. Flores (2018) en su tesis: *“Modelo heurístico de asignación de rutas para minimizar los costos operativos del Servicio de Transporte de Ruta de la empresa Brandom S.A.C, 2018”*, concluyó que la implementación del algoritmo de los ahorros impactó de manera positiva sobre los costos operativos del servicio de transporte de ruta, por lo que, es factible.

A su vez, Vives y Gálvez (2018) desarrollaron un estudio titulado: *“Evaluar los tiempos y movimientos para mejorar el sistema de recolección convencional de residuos sólidos en la ciudad de Bagua, Provincia de Bagua, Departamento de Amazonas – 2017”*, concluye, la técnica de estudio de tiempos y movimientos es factible cuando se desea mejorar la calidad de los sistemas, debido a que permitió efectuar un análisis crítico de cualidades y cantidades empleadas en la realización de la actividad, útiles para plantear recomendaciones e implementar los lineamientos necesarios para la optimización de la calidad del servicio de recolección de residuos sólidos convencional.

En el plano local, se tiene a Ávila y Ramírez (2019) desarrollaron una investigación titulada: “*Optimización de la gestión de las rutas de recojo de residuos sólidos, en el Distrito de Tarapoto, 2017*”, concluyó, que la gestión de las rutas de recolección de residuos sólidos presenta baja eficiencia, por ello, se propone la implementación de un modelo metaheurístico basado en tecnologías de información que involucre la actividad de un software de control, monitoreo de rutas, flujo de peso de acumulación y la incorporación de zonas donde existen mayor cantidad de agentes generadores de residuos. Luna (2018) realizó un estudio titulado: “*Propuesta de un plan para la recolección y transporte de los residuos sólidos generados en la ciudad de Tarapoto – provincia de San Martín, 2017*”, concluyó que la optimización de las rutas minimizan los costos, amplían el recorrido y minimiza el tiempo invertido en la recolección, lo que indica que la implementación de un diseño de rutas que aporte el 95% de confianza, cambiará de manera positiva la gestión de recolección y transporte de residuos sólidos.

Lozano (2018) realizó un estudio de título “*Sistemas de gestión basados en métodos de residuos sólidos para mejorar el manejo de desechos domiciliarios en Cuñumbuqui-Lamas-2018*”, concluyó que la gestión que implica el transporte, recolección, traslado, transferencia y disposición, se lleva a cabo mediante lineamientos y procedimientos de forma regular, esta situación amerita que los entes encargados de tal gestión en la localidad adopten medidas respectivas que permitan aumentar el nivel de calidad y satisfacción en el manejo de desechos domiciliarios, no de urgencia, pero sí de relevancia. Ushiñahua (2018) abordó una investigación titulada “*Gestión ambiental y su relación con el manejo integral de residuos sólidos en la Municipalidad Provincial de San Martín, 2018*”, concluyó que sí existe relación y esta es significativa, puesto que, a medida que se realiza una mala gestión ambiental, la calidad de la prestación del servicio, relacionada con el manejo de residuos sólidos, es deficiente, en consecuencia, se lleva a cabo de manera inadecuada. Finalmente, Cachique (2017) llevó a cabo un estudio titulado “*Caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Caynarachi, Lamas 2016*”, concluyó, que se realizó de manera efectiva la caracterización de los residuos sólidos, a partir de allí, se estima que se facilite la gestión y se optimice el proceso, así como, el manejo adecuado de estos en el distrito de Caynarachi.

Asimismo, es pertinente señalar, luego de la aplicación de la encuesta a los trabajadores, se logró determinar que no existe en la actualidad el uso de la tecnología para mejorar el sistema de ruteo, pese a que disponen de los recursos necesarios a la fecha son

pocos los esfuerzos que se han realizado sobre el tema. Por lo que se deduce que existe la necesidad de introducir tecnología para mejorar los procesos y optimizar el funcionamiento. A partir de estos resultados se diseña la siguiente propuesta de soluciones:

3.4 Propuesta de mejora



Figura 28. Árbol de problemas

Fuente: Instrumentos de recolección de datos aplicados, 2021



Figura 29. Árbol de soluciones

Fuente: Instrumentos de recolección de datos aplicados, 2021

Introducción

El ámbito local, específicamente en el Distrito de Morales cuenta con una población aproximada de 44851 habitantes, la entidad responsable de la recolección de basura es su municipalidad, y lo realiza por sectores. Este trabajo se realiza sin el uso de alguna metodología para determinar aspectos como las rutas de recolección, el recurso humano por sectores e incluso como poder tener un aprovechamiento máximo de los recursos existentes para la realización de esta tarea. Específica que el diseño de una red rutas para la recolección de basura pasando por una gran cantidad de puntos juega un papel importante en la gestión de los sistemas logísticos, suponiendo un ahorro importante en los costes de su correcta planificación. (Olivera, 2004). Esto, justifica el uso de herramientas de investigación operativa como parte importante en la planificación de dichos sistemas pues, el coste del transporte se estima entre un 10% y un 20% del coste total del servicio. (Toth y Vigo, 2000)

Uno de los problemas actuales en el Distrito de Morales en cuanto a la conservación del medio ambiente se refiere, es sobre el deficiente plan en el sistema de rutas para la recolección de basura urbana. De los resultados de la encuesta aplicada a la población del distrito, se puede afirmar que existe un 42% de la población que no se encuentra conforme con el servicio de recolección de la basura y se sugiere que el problema radica en que existe una inadecuada manera para su recojo, puesto que la frecuencia de recolección no es la apropiada para mantener los hogares y la ciudad en general libre contaminación causada por la acumulación basura, por lo que ante esta realidad, la Municipalidad Distrital de Morales no es ajena a esta problemática, y es debido a ello que ha tomado la decisión de implementar un programa de segregación en la fuente como parte del proceso de recolección de los residuos sólidos domiciliarios, el cual debe abarcar un área delimitada del distrito.

El programa debe contar con los instrumentos legales correspondientes. Determinar y adecuar lugares de recojo de los residuos sólidos a los cuales no puede llegar la unidad recolectora, para evitar cualquier tipo de contaminación y peligro contra la salud, contaminación de zanjas, vías públicas, fajas ribereñas y el caudal del río. (Estudio de caracterización de los residuos sólidos domiciliarios del distrito de morales – Municipalidad Distrital de Morales, junio 2021). Por tanto, por todo lo expuesto anteriormente, se determina la necesidad “deficiente sistema de ruteo vehicular de recolección de basura en la Municipalidad Distrital de Morales”.

Objetivo

Mejora del sistema de ruteo vehicular en la recolección de basura del Distrito de Morales mediante la aplicación de un Algoritmo Metaheurístico.

Justificación

La propuesta de mejora se justifica en función a la importancia que cobra el tema del desarrollo de una sociedad con el fin de buscar su crecimiento económico, la lucha contra la pobreza y mantener un crecimiento sostenible. Debe señalarse, no se han elaborado estudios comparativos de este tipo en los últimos años. La propuesta permitirá comprender como el uso de Algoritmo Metaheurístico influye de manera considerable en la optimización de rutas para la recolección de basura. Con la propuesta se podrá reducir considerablemente los costos de combustible en el ruteo vehicular de recojo de basura. Así mismo, con el uso de estos algoritmos se podrán reducir los tiempos de recolección de basura y por ende aumentar la frecuencia de recojo de basura en el distrito. Lo que se espera es mejorar el servicio y concienciar a la población del Distrito de Morales sobre el servicio de limpieza pública, las calles estarán más limpias y por consiguiente la contaminación ambiental se reducirá favorablemente.

Fundamentación teórica

Recolección de residuos sólidos

Para Huang, Zhao, Woensel, y Gross (2019) la recolección de residuos sólidos consiste en su traslado desde la fuente generadora hasta el vehículo encargado de llevarlo hacia el sitio de disposición final, por lo tanto, se debe realizar de manera organizada un plano de la zona asignada a cada vehículo, en el cual, se observe el curso que este debe seguir, los tiempos y la cantidad de residuos que se acumulan en el trayecto, entonces, indican los autores, el plano debe contener como datos, la cantidad de viviendas y lugares de mayor concentración de residuos y las señales de calles, jardín, viaductos o vías de índole similar.

Según Becerra y Alvarado (2018), al diseñar un plano se debe tener una visión integral en cual contemple como características el ser técnico, que sea fácil de utilizar, de operar y de actualizar, además debe ser social, fomentando así hábitos positivos, económico, cuyos costos sean acordes a lo disponible por la población, organizativo, que su

administración y gestión sea dinámica y que contemple la preservación de salud, en la que se visualice la prevención de impactos sustanciales en el suelo, agua y aire.

Se pueden establecer dos pasos a seguir al diseñar un plano, según Grajales, Hincapié y Montoya (2018) el primero consiste en realizar un proyecto de gabinete, en el cual, se calcula las necesidades y se asignan las áreas a los camiones y el segundo llamado ajuste de campo, consistente en analizar las actividades asignadas para balancearlas y nivelar el trabajo de manera equitativa a las cuadrillas existentes.

Es preciso aclarar, lo expuesto por Guasmayan (2018), quien indica que la eficiencia en la recolección de residuos no está determinada por la cantidad de viajes que realice un vehículo, no es relativa a un mayor número de viajes, por el contrario, de ese modo las unidades se desgastarán rápidamente, la idea central es analizar y establecer un adecuado control de rutas y evitar cargas adicionales no consideradas a tiempo. Por lo tanto, en el diseño de rutas se debe primero sectorizar, es decir, dividir la ciudad en sectores asignándoles a cada uno un equipo de recolección de manera equitativa y explotando toda su capacidad, pudiendo ser divididos en subsectores, luego se establecen los límites de los sectores guiados con el mapa de la ciudad, evitando barreras que hacen perder tiempo, posteriormente se procede a realizar un diagrama en el que se observa la ruta de recorrido de cada subsector.

Frecuencia y Horarios de Recolección de Residuos

Frecuencia de recolección dos veces por semana, consistente en coordinar dos días a la semana para la prestación del servicio, presenta como ventajas que disminuyen los costos por tonelada/kilómetro transportado y por mantenimiento y como desventaja, debido a la baja frecuencia se proliferan los insectos, los malos olores y se presentan los tiraderos clandestinos por la presencia de incomodidades de los habitantes de las zonas de baja frecuencia de recolección (Delgado, Caballero, Sánchez, & Colmenar, 2020).

Rutas de recolección

Según Edalatpour, Al-e-hashem, Karimi, & Bahli (2018) se diseñan las rutas mediante la observación y el análisis del tipo de vía de la localidad, la ubicación de los residuos, las zonas de difícil acceso, la cantidad de habitantes de la localidad, especificaciones de los vehículos, cantidad de equipos, condición de las vías, frecuencia de la recolección, distancia por recorrer hacia el sitio de descarga, disposición de los

contenedores, planos del terreno, otras condiciones que incidan en el diseño de rutas, estas se dividen en macro ruta y micro ruta, en la primera se fracciona la ciudad en sectores operativos con el propósito de determinar el tamaño de las rutas para distribuir el trabajo de forma equitativa.

En cuanto a, micro ruta, apuntan Edalatpour et al. (2018) que delimita el recorrido que debe realizar el vehículo que presta el servicio, en el cual puede visualizar toda área que se le ha asignado, contentiva de una ruta para cada sector, con el objeto de acortar los tiempos por desvíos o pérdidas innecesarias. Así mismo, señalan Elshaer & Awad (2020) que existen otras consideraciones al momento de diseñar el ruteo, entre ellos, las rutas deben ser lineales, compactas que enmarque un área geográfica, los canales de una sola vía se atacan desde el principio, se evitan las vueltas en U, se empieza la recolección por las partes elevadas, en el método de acera es recomendable rodear la manzana y cuando es por lo lados de la acera es recomendable hacer el servicio en línea recta.

Algoritmos para optimizar rutas de recolección

Al mencionar sistemas para optimizar el funcionamiento de los procesos, en los cuales se involucra la toma de decisiones, destacan Elshaer & Awad (2020), que se está en presencia de la Investigación de Operaciones u Operativa, en ella se emplean modelos matemáticos para simplificar situaciones reales que al aplicarlos faciliten la toma de decisiones, la misma funge como pieza fundamental, debido a que es mucho más factible tomar decisiones en base a resultados obtenidos con un modelo.

Dentro de dichos modelos matemáticos existentes están la programación lineal, la entera y la dinámica, la primera consiste en el empleo de modelos lineales, en el caso de la programación entera se asumen como variables valores enteros y en la dinámica se descompone el modelo en sub-problemas manipulables, sin embargo, estos modelos son complejos cuando se intentan resolver algoritmos relacionados con clientes, para ello, es conveniente utilizar métodos heurísticos y de metaheurísticas, los cuales consisten en la aplicación de técnicas que se valen de estrategias prácticas para lograr soluciones óptimas.

GRASP

Este algoritmo metaheurístico es definido por Tirkolaei et al. (2019) como una técnica en la cual cada solución repetida aporta un elemento al problema que se está intentado solucionar, mientras tanto, se almacena la solución más adecuada como resultado

final, consiguientemente, se manifiesta en dos fases, primero se trabaja en la construcción de una respuesta a través de un método ávido y aleatorio, luego, en la segunda fase, se procede a realizar un proceso de búsqueda local a la respuesta construida, con el propósito de hallar una mejora, por lo cual, forma parte de un metaheurístico constructivo.

Aplicación del algoritmo metaheurístico

Procedimiento

Fase 1: Gabinete inicial

Se inició con la elaboración del Proyecto de Tesis, con la contextualización del problema de investigación (método del embudo), posteriormente se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica para determinar antecedentes relacionados con el tema de estudio, lo cual permitió observar los resultados obtenidos como un marco referencial para utilizar el método de contrastación y comparación de resultados, seleccionando solo los que coincidieron con los resultados aquí obtenidos. También, se procedió al diseño de los instrumentos de recolección de datos, a su validación y posterior aplicación en el campo in situ y a los pobladores de la zona.

Los resultados de la aplicación de los instrumentos permitieron determinar el árbol de problemas, para generar la matriz de soluciones, la cual se enfocó en la aplicación del algoritmo metaheurístico Grasp, para cada solución repetida aporta un elemento al problema que se está intentado solucionar, mientras tanto, se presenta la solución más adecuada como resultado final. Consiguientemente, se manifiesta en dos fases, primero se trabaja en la construcción de una respuesta a través de un método ávido y aleatorio, luego, en la segunda fase, se procede a realizar un proceso de búsqueda local a la respuesta construida, con el propósito de hallar una mejora, por lo cual, forma parte de un metaheurístico constructivo.

Fase 2: Campo (observación in situ)

En esta fase, se hizo un recorrido por la zona, para hacer un mapeo de las rutas lo cual facilitó la aplicación del algoritmo.



Figura 30. Preparación de la unidad para el recorrido

Fuente: Observación in situ, 2021



Figura 31. Preparación de la unidad para el recorrido

Fuente: Observación in situ, 2021



Figura 32. Inicio del recorrido por parte del investigador

Fuente: Observación in situ, 2021



Figura 33. Mapeamiento de la ruta

Fuente: Observación in situ, 2021



Figura 34. Mapeamiento de la ruta

Fuente: Observación in situ, 2021



Figura 35. Mapeamiento de la ruta

Fuente: Observación in situ, 2021

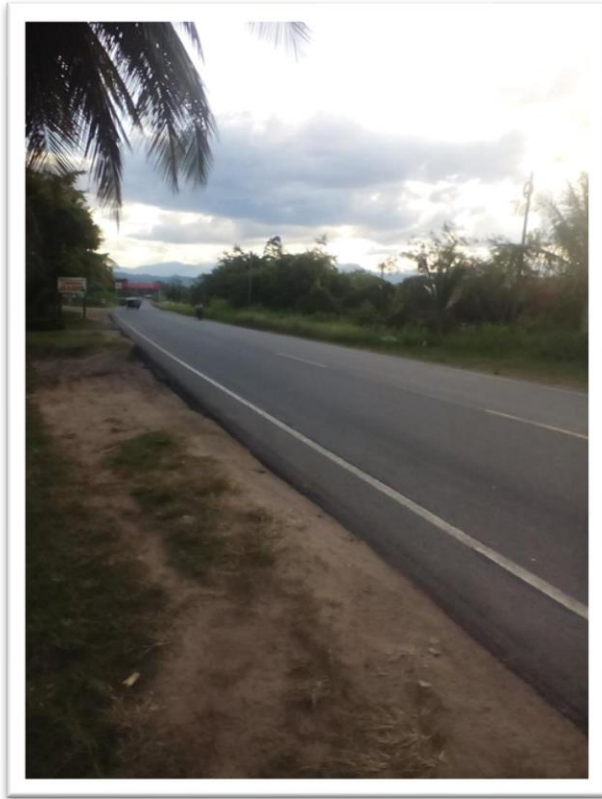


Figura 36. Mapeamiento de la ruta

Fuente: Observación in situ, 2021

Fase 3: Gabinete

En esta fase se ejecutó la propuesta para evaluar los resultados de la misma, como fase de experimentación.

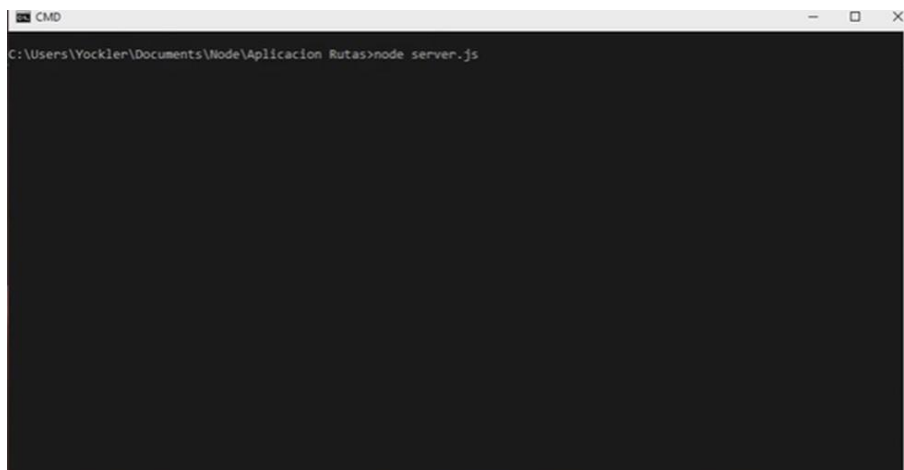


Figura 37. Preparación del algoritmo

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

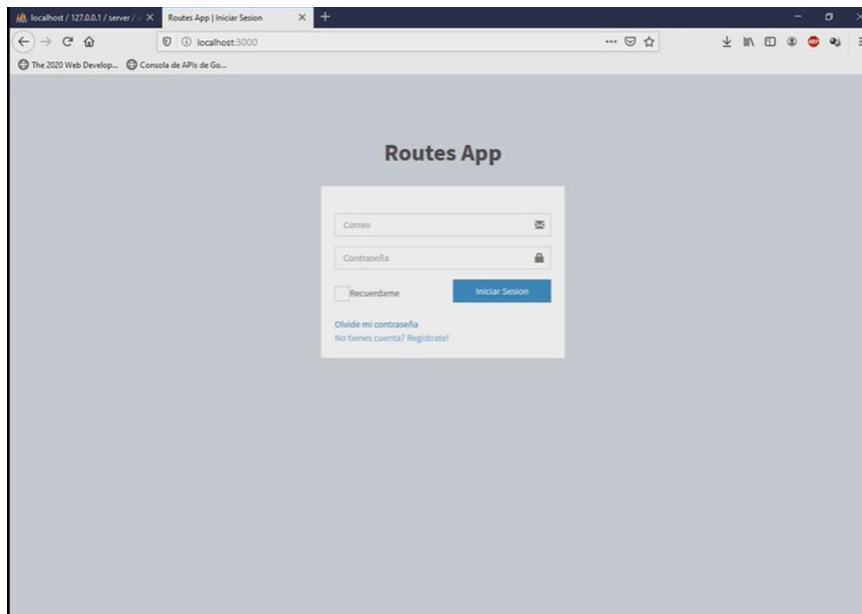


Figura 38. Inicio de sesión

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

A screenshot of a web browser displaying the registration page for 'Routes LTE'. The browser's address bar shows 'localhost:3000'. The page has a light gray background with the title 'Routes LTE' centered at the top. Below the title is a white registration form titled 'Formulario de registro'. The form contains the following fields: 'Nombres' (First names) and 'Apellidos' (Last names) as text inputs; 'Fecha Nacimiento' (Date of birth) as a date picker; 'Documento' (ID type) as a dropdown menu; 'Num. Documento' (ID number) as a text input; 'Sexo' (Gender) and 'Estado Civil' (Marital status) as dropdown menus; 'Departamento' (Department), 'Provincia' (Province), and 'Distrito' (District) as dropdown menus; 'Dirección' (Address) as a text input; 'Telefono' (Phone) and 'Correo' (Email) as text inputs; 'Contraseña' (Password) and 'Verifique Contraseña' (Verify Password) as text inputs. At the bottom of the form are two blue buttons: 'Crear Cuenta' (Create Account) and 'Cancelar' (Cancel).

Figura 39. Registro

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

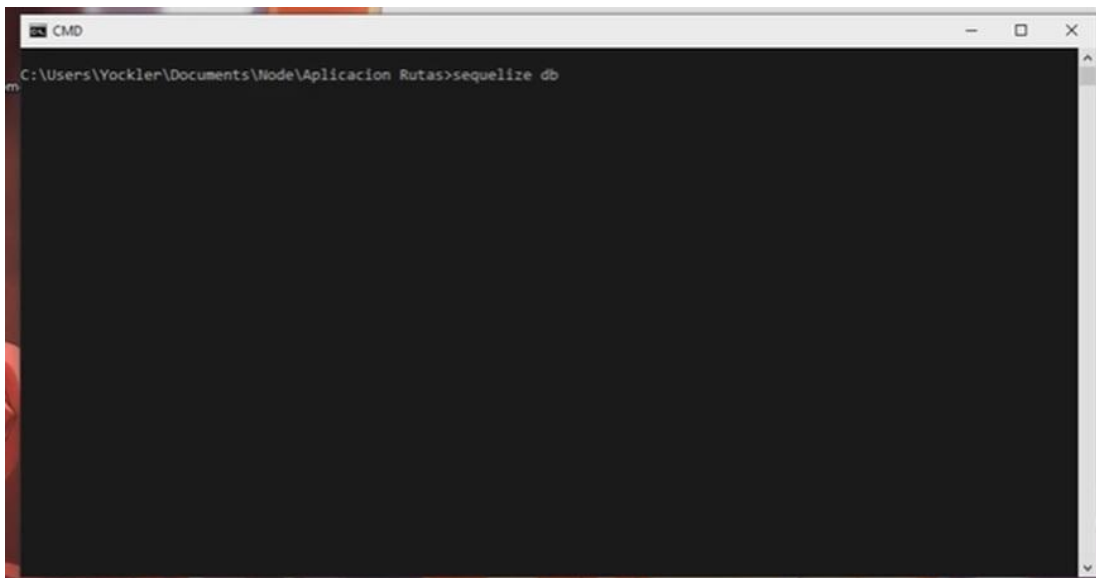


Figura 40. Acceso

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

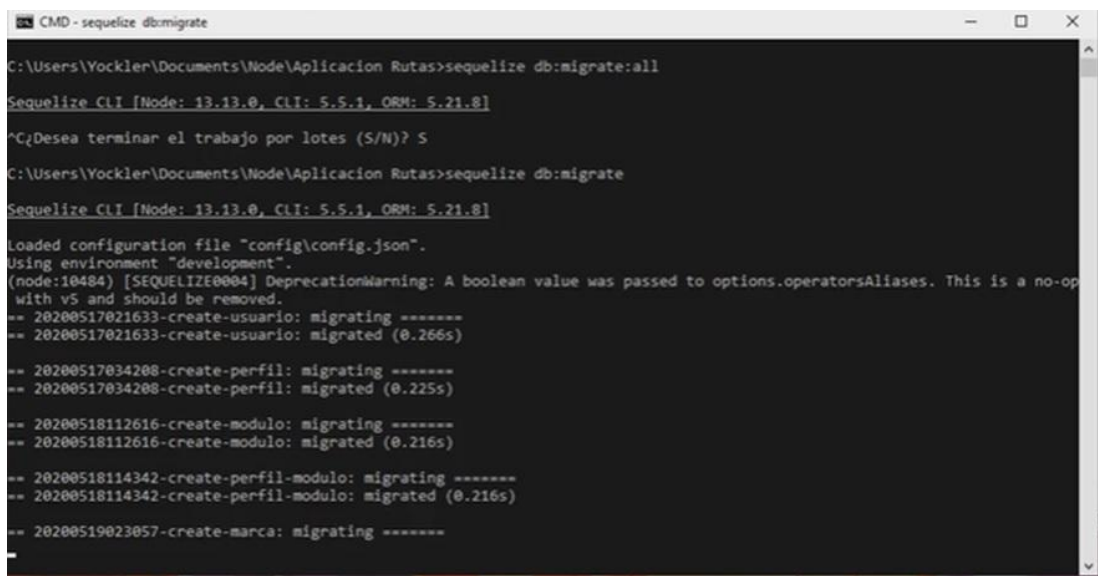


Figura 41. Acceso

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

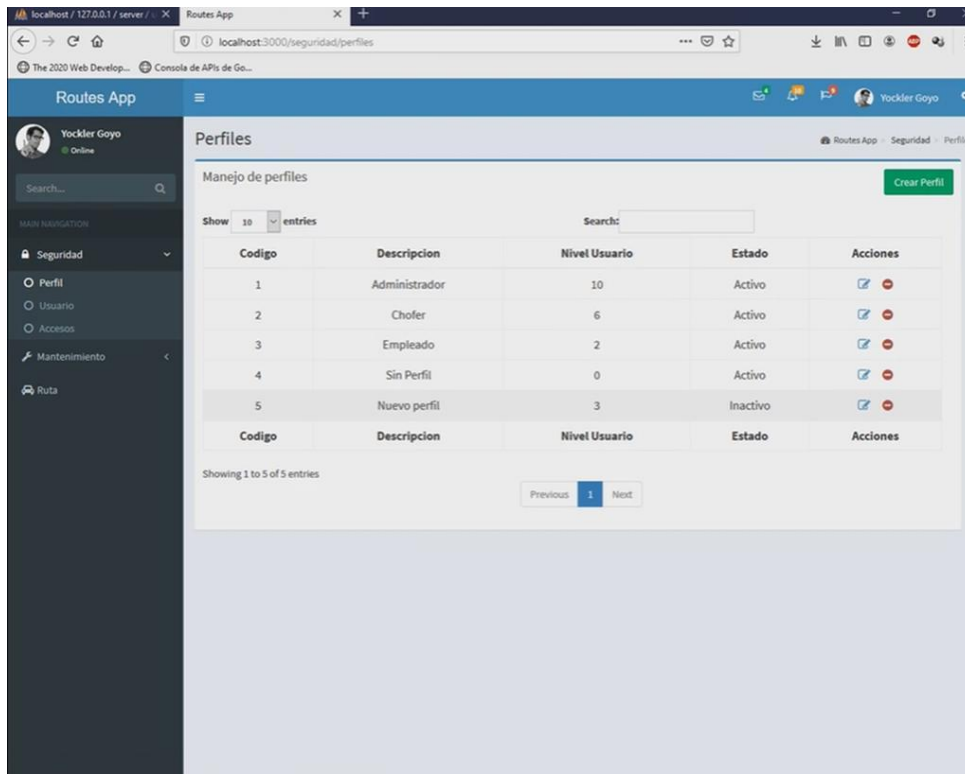


Figura 42. Perfiles

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

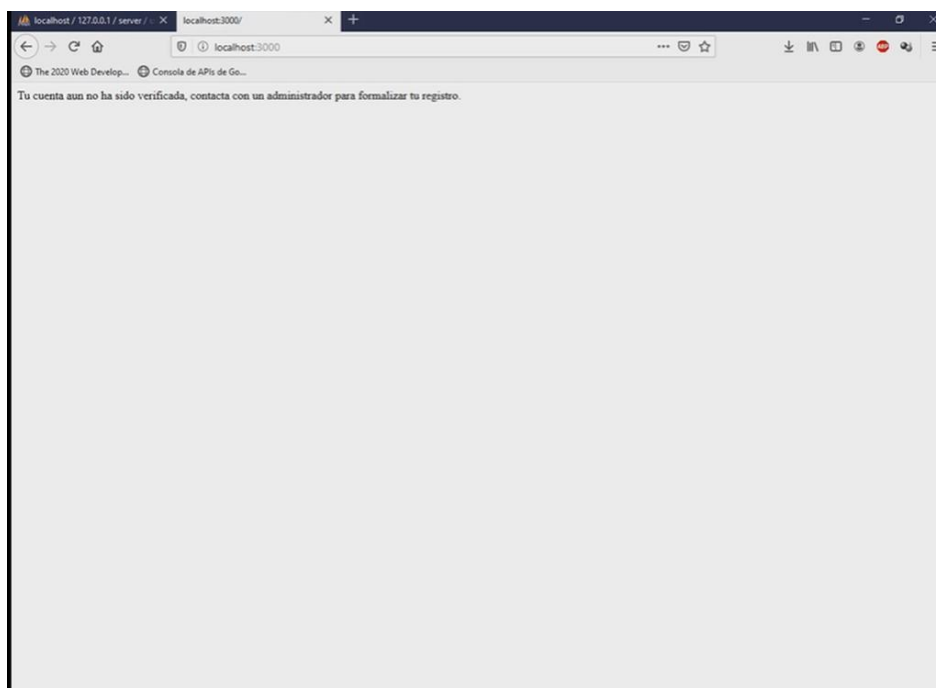


Figura 43. Configuración de la cuenta

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

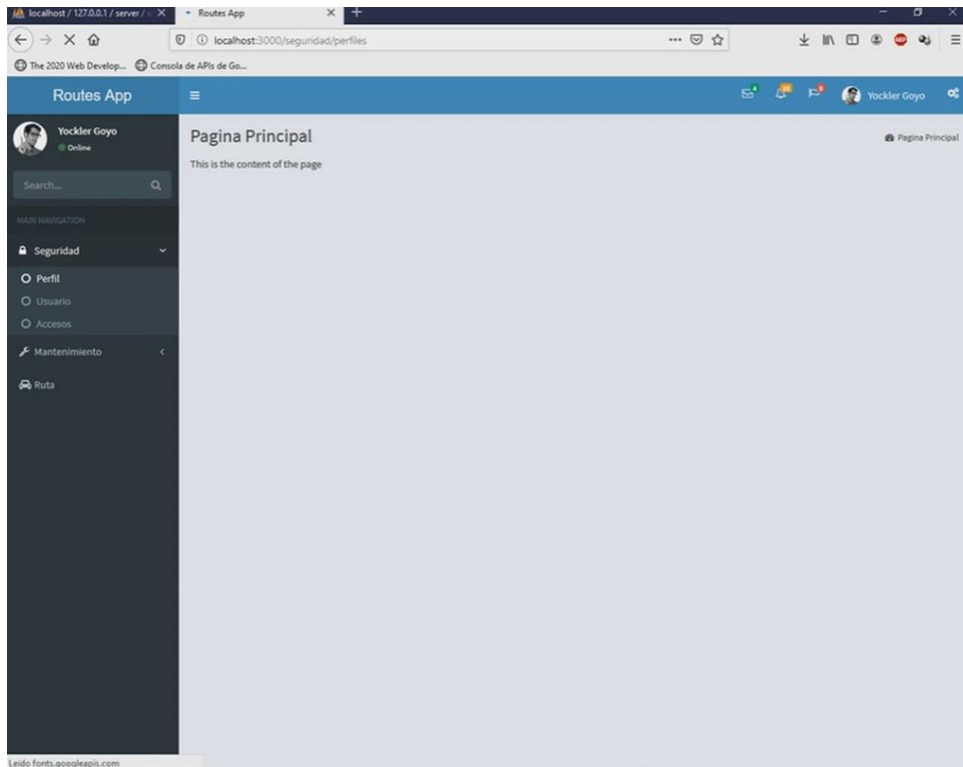


Figura 44. Página principal

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

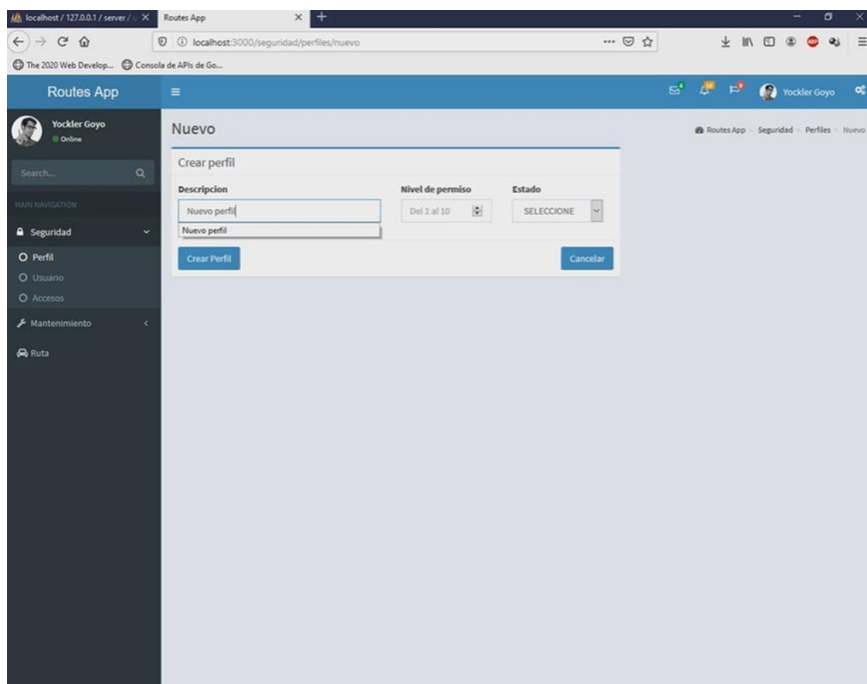


Figura 45. Perfil generado

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

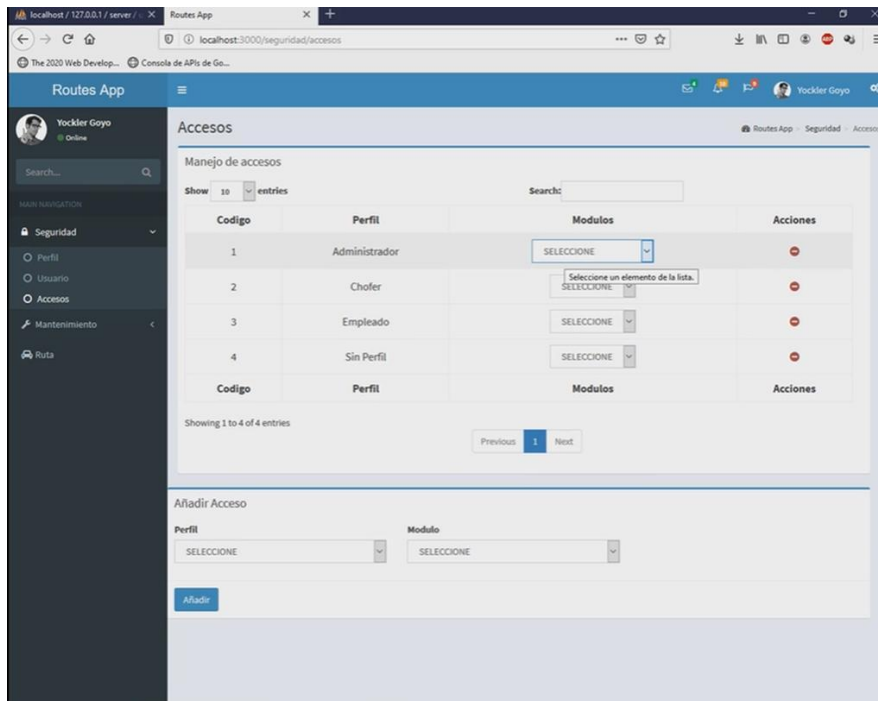


Figura 46. Acceso al sistema

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

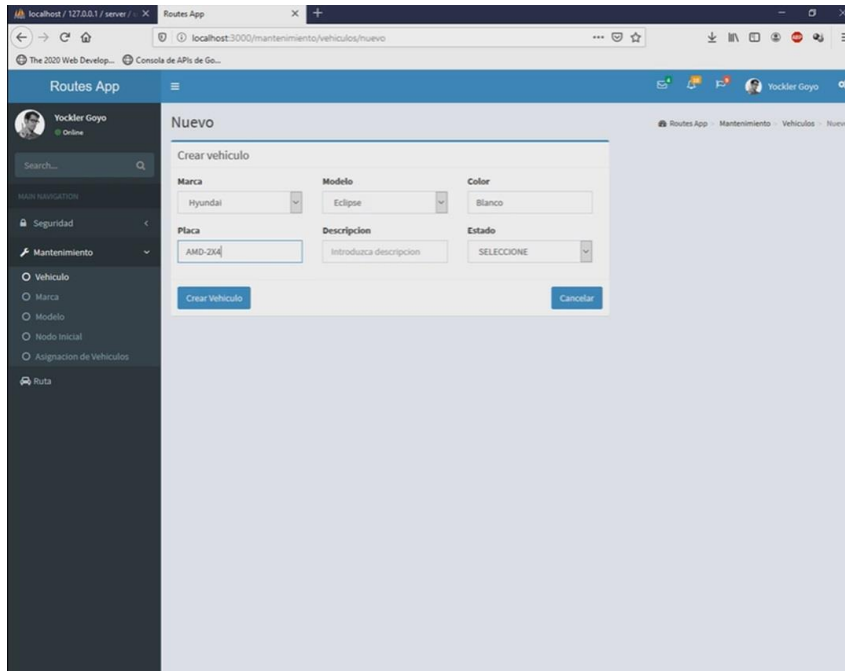


Figura 47. Acceso al sistema

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

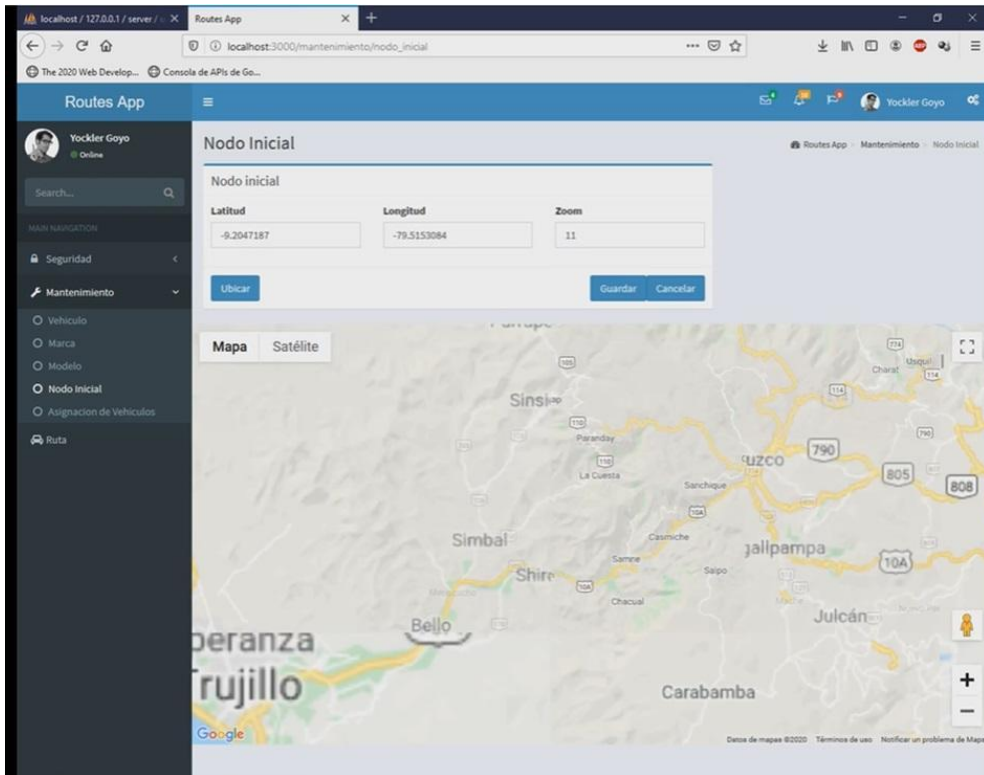


Figura 48. Mapeamiento

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

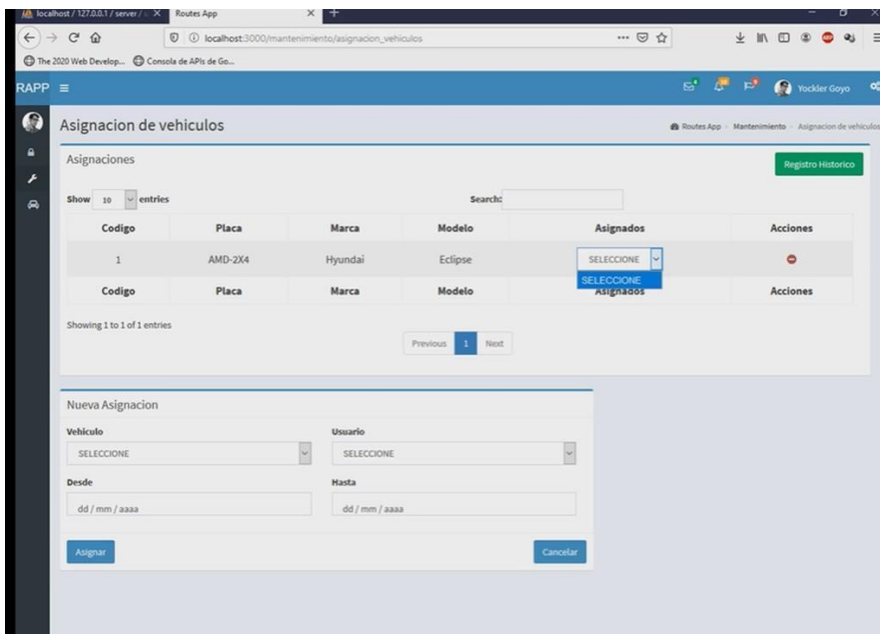


Figura 49. Asignación del vehículo

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

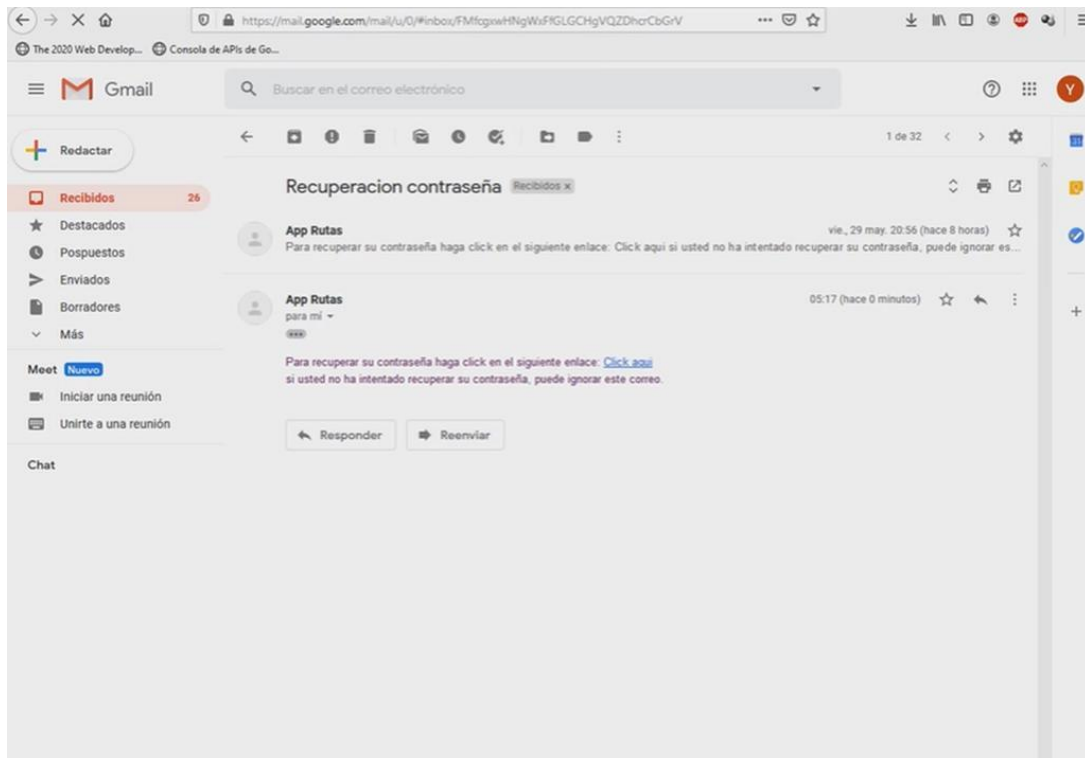


Figura 50. Recuperación de contraseña

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

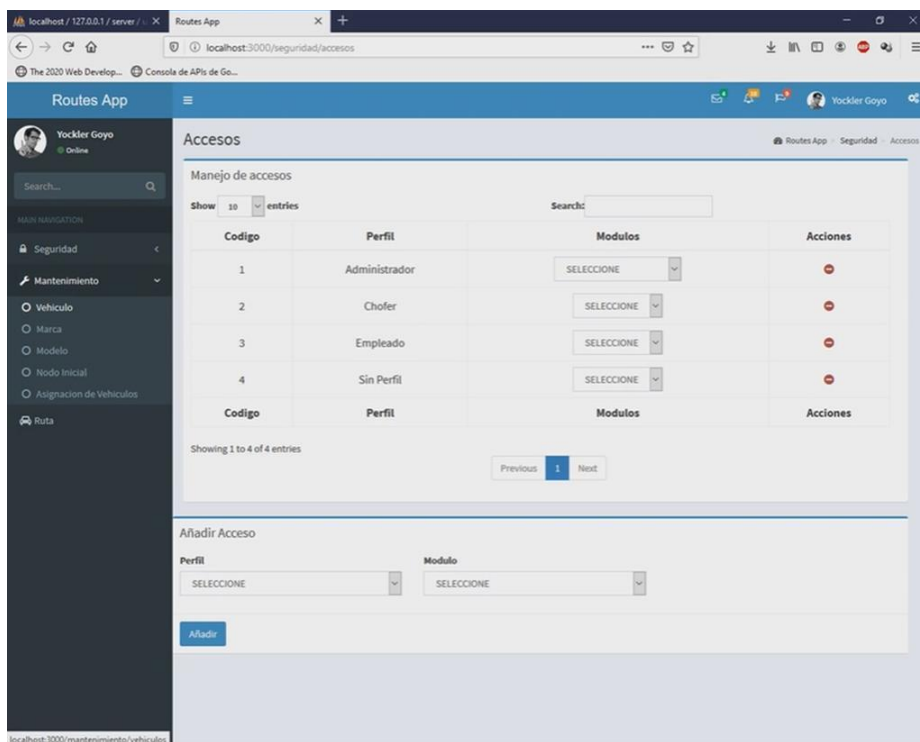


Figura 51. Acceso

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

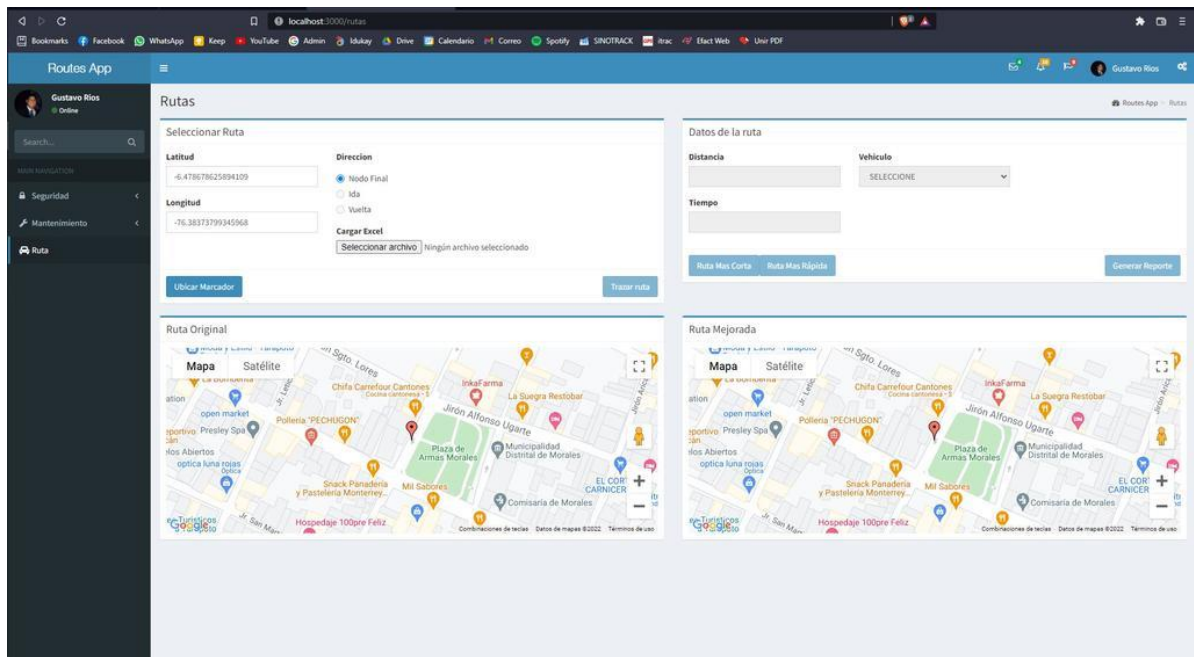


Figura 52. Generación de las rutas

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

The screenshot shows a Google Sheet titled 'Hoja de cálculo sin título'. The spreadsheet contains the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Lat	Lng	Final									
2	-12.03243716	-77.0279789	NO									
3	-12.0108775	-76.99682768	NO									
4	-11.97155963	-76.99219282	NO									
5	-11.94006047	-76.97211321	NO									
6	-11.920784	76.9602630281222	SI									
7	-11.96031954	-76.98787247	NO									
8	-12.02710263	-77.03346174	NO									

Figura 53. Reporte y registros

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

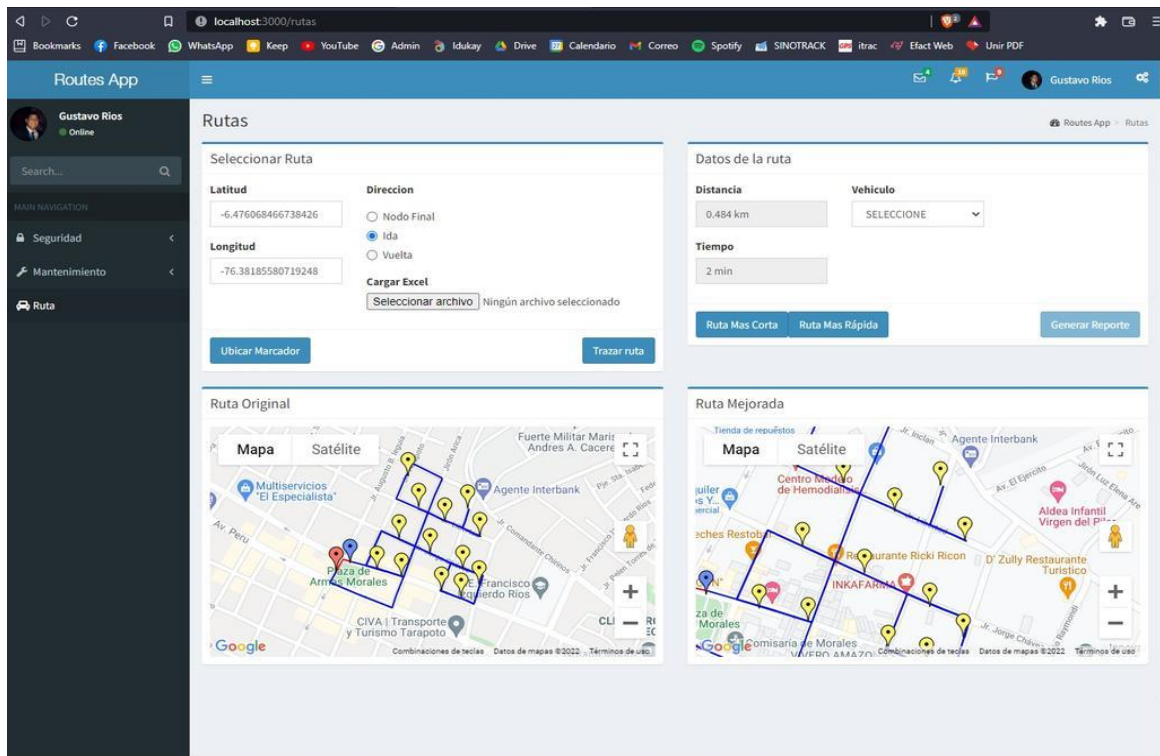


Figura 54. Reporte y registros de rutas

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

Resultados obtenidos



Figura 55. Recojo de residuos con ruta establecida

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021



Figura 56. Recojo de residuos con ruta establecida

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021



Figura 57. Recojo de residuos con ruta establecida

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021



Figura 58. Recojo de residuos con ruta establecida

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021



Figura 59. Recojo de residuos con ruta establecida

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021



Figura 60. Recojo de residuos con ruta establecida

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021



Figura 61. Recojo de residuos con ruta establecida

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021



Figura 62. Recojo de residuos con ruta establecida

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021



Figura 63. Disposición final

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021



Figura 64. Retorno del vehículo

Fuente: Algoritmo metaheurístico, 2021

CONCLUSIONES

Toda investigación se produce a partir de un problema en contexto real que merece urgente atención, en el presente estudio se parte de uno de los problemas que afectaba directamente a los pobladores del Distrito de Morales, de la Provincia San Martín. Su totalidad de habitantes 44581 se veían afectados desde diferentes aspectos: salud, ambiental, económico, ecológico, social y cultural. Basados en esta premisa, se determinó que con la aplicación del algoritmo metaheurístico se mejora el sistema de ruteo vehicular en la recolección de basura. Con el diagnóstico ejecutado (encuestas y observación directa) se logro identificar que los procesos no están establecidos, carecen de planificación y un buen control del personal (horarios de trabajo) y de las unidades compactadoras (combustible, tiempo del recorrido), no se cuenta con rutas establecidas por zonas generando puntos críticos que aumentan la acumulación de los residuos en las vías y espacios públicos.

Se puede observar a partir de las evidencias presentadas el desarrollo del algoritmo permitió establecer de manera coordinada un sistema de ruteo que está beneficiando a toda la población, con este sistema se tienen visitas de Vehículos compactadores con mecanismos de carga trasera, frontal y lateral, 12 a 30 m³ de capacidad volumétrica, con mecanismo de carga y de descarga de contenedores, cuya capacidad varía desde uno hasta seis metros cúbicos, según la potencia de dicho mecanismo. El camión recolector pasa dos veces por semana. Se consideran aspectos como: Número y tipo de equipo seleccionado. Tamaño de la tripulación, Frecuencia de recolección, Distancia entre paradas y estaciones, Distancia al sitio de transferencia o disposición final, horario de los trabajadores y combustible utilizado para cada ruta, Maniobrabilidad de los contenedores, Topografía del terreno, Tráfico en la ruta, Condiciones de los caminos.

Determinando que el algoritmo empleado se caracteriza por: Sencillez: principios simples y claros, Coherencia: todos los pasos aplicados a un problema particular deben derivarse de los principios del metaheurístico, Eficiencia: en un problema particular deben aportar soluciones óptimas o pseudo-óptimas en la mayoría de las instancias reales, Efectividad: los tiempos de computación empleados en suministrar las soluciones anteriormente citadas deben ser aceptables, Robustez: comportamiento adecuado frente a diferentes instancias, Amigables con el usuario: deben estar bien definidos, comprensibles y fáciles de usar, Innovación: preferentemente deben llevar nuevas aplicaciones. Como

resultados visibles a corto plazo se obtuvo el ahorro de los tiempos, se optimizaron los horarios de trabajo, y hubo un considerable ahorro de combustible.

Las ventajas conseguidas con la propuesta aplicada fueron: Algoritmos de propósito general, Gran éxito en la práctica, Fácilmente implementables y Fácilmente paralelizables. Las desventajas conseguidas con la propuesta aplicada fueron: Son algoritmos aproximados, no exactos, Son altamente no determinísticos (probabilísticos) y Presenta poca base teórica.

Con el nuevo sistema se aumenta la cobertura de la recolección, se organizan y establecen procedimientos más estructurados, reducción de los tiempos del recorrido, se produjo un ahorro del combustible, los horarios de los trabajadores fueron organizados permitiendo un control más eficiente. Asimismo, se evita la pérdida de tiempo innecesario ya que las rutas están mejor distribuidas, reduciendo además del ahorro de combustible un menor impacto de CO₂ y otros gases contaminantes. Al generarse un ahorro de tiempo de una forma más metódica y organizada, se pueden asignar los recursos con mayor criterio, impactando positivamente en los costos.

RECOMENDACIONES

- A la Municipalidad Distrital de Morales, estar en constante actualización de propuestas que den respuesta inmediata a problemas que atentan contra la salud y el bienestar de sus pobladores. Para ello, se recomienda tener planes de monitoreo, diagnóstico y detección de problemas, así como planes para la generación de soluciones viables, a corto plazo con presupuesto disponibles.
- Se recomienda articular con otras entidades públicas y privadas en la generación de propuestas y soluciones. Aprovechamiento de las actividades de Responsabilidad Social Empresarial RSE para crear un compromiso de cumplimiento en beneficio de toda la comunidad.
- Buscar financiamientos externos cuando sea necesario, para materializar las propuestas y asegurar el éxito de estas, orientado al manejo de los desechos sólidos.
- Al alcalde y funcionarios de la Municipalidad Distrital de Morales, diseñar programas de capacitación permanente para el manejo de estos sistemas computarizados, software y plataformas que permitan mantener la innovación e introducir nuevas tecnologías en sus sistemas para el mejor desempeño de los desechos sólidos domiciliarios.
- Crear campañas educativas para la comunidad para realizar un mejor manejo de los desechos particularmente en el momento que los sacan de sus hogares con el propósito de ser recolectados.
- Crear campañas de salud y gestión del ambiente para asegurar a los habitantes una mayor protección de sus vidas y del ambiente.
- Se recomienda emplear Recurso Humano capacitado en el manejo de sistemas computarizados, innovación e introducción de nuevas tecnologías, esto asegurará que se sigan empleando métodos efectivos y eficaces para beneficio de la comunidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdesslem-Layeb, M., & Chikhi, S. (2018). *A GRASP Algorithm Based on New Randomized Heuristic for Vehicle Routing Problem*. *Journal of Computing and Information Technology*, 21(1), 35 – 46. doi: 10.2498/cit.1002085.
- Armendariz, F., Pachi, D., & Arcos, H. (2018). *Tuning of the Power System Stabilizers of the Ecuadorian National Interconnected System - Application and Comparison of Heuristic Methods in Multi-Machine Environment*. *Revista técnica energía*(14), 26-32. Recuperado de: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/issue/view/1>.
- Asefi, H., Shahparvari, S., & Chhetri, P. (2019). *Integrated Municipal Solid Waste Management under uncertainty:A tri-echelon city logistics and transportation contex*. *Sustainable Cities and Society*, 50. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101606>.
- Assaf, R., & Saleh, Y. (2018). *Vehicle Routing Optimization for Municipal Solid Waste Collection Using Genetic Algorithm:The Case of Southern Nablus City*. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 26, 43-67. doi:<https://doi.org/10.1515/ceer-2018-0034>.
- Ávila, V., & Ramírez, S. (2019). *Optimización de la Gestión de las Rutas de Recojo de Residuos Sólidos, en el Distrito de Tarapoto, 2017*. [tesis de maestría, Universidad Científica del Perú]. Repositorio UCP <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/688>.
- Becerra, Y., & Alvarado, F. (2018). *Ventajas de la aplicación de las metaheurísticas, algoritmos genéticos y búsqueda tabú en la solución de problemas de Job Shop Scheduling*. 22-44. En Congreso Internacional y Nacional de Administración Industrial 2018 (Medellín). DOI: <https://doi.org/10.4067/s0718-07642011000100011>.
- Blazquez, C., & Paredes-Belma, G. (2020). *Network design of a household waste collection system: A case study of the commune of Renca in Santiago, Chile*. *Waste Management*, 116, 179-189. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.027>.

- Cadena, R. (2018). *Problemas de Optimización en la Gestión Logística de Distribución: Una Revisión de Literatura de la Solución del Problema de Ruteo de Vehículos – VRP*. [tesis de maestría, Universidad Pontificia Bolivariana]. Repositorio Institucional UPB. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/6214>.
- Celiz, C. (2018). *Diagnóstico para la implementación de un sistema de Manejo y gestión integral de residuos sólidos en el Centro de salud de la ciudad de caballo cocha, Distrito de ramón castilla, Región Loreto*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos. Perú. Recuperado de: http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3414/Cynthia_Tesis_Titulo_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Consumer, R. (2018). *Plan de residuos sólidos*. México: Mac Graw Grill. .
- Correa, J. (2018). *Propuesta de Mejora del Sistema de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos en el Distrito de Chiclayo para reducir los Impactos Ambientales*. [tesis de grado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio USAT. <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/1142>.
- Cortinhal, M., Mourão, M., & Nunes, A. (2018). *Local search heuristics for sectoring routing in a household waste collection context*. European Journal of Operational Research, 255, 68-79. doi:<https://doi.org/10.1018/j.ejor.2016.04.013>.
- Delgado, L., Caballero, R., Sánchez, J., & Colmenar, J. (2020). *Iterated greedy with variable neighborhood search for a multiobjective waste collection problem*. Expert Systems With Applications, 145. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.113101>.
- Deti, P., Papalini, F., & De Lara, G. (2018). *A multi-depot dial-a-ride problem with heterogeneous vehicles and compatibility constraints in healthcare*. Omega, 70: 1–14. doi: 10.1016/j.omega.2016.08.008.
- Doerner, K., & Salazar, J. (2018). *Pickup-and-Delivery Problems for People Transportation*. En P. Toth y D. Vigo (Eds.), *Vehicle routing: problems methods, and applications (2.a ed., pp. 193 – 212)*. Philadelphia, PA: Society for Industrial and Applied Mathematics. doi: 10.1137/1.9781611973594.

- Dotoli, M., & Epicoco, N. (2018). *A Technique for the Optimal Management of Containers' Drayage at Intermodal Terminals*. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2018 - Conference Proceedings (pp. 566 – 571).
- Edalatpour, M., Al-e-hashem, S., Karimi, B., & Bahli, B. (2018). *Investigation on a novel sustainable model for waste management in megacities: A case study in tehran municipality*. Sustainable Cities and Society, 36, 286-301. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.019>.
- Elshaer, R., & Awad, H. (2020). *taxonomic review of metaheuristic algorithms for solving the vehicle routing problem and its variants*. Computers & Industrial Engineering, 140. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106242>.
- Expósito-Márquez, A., Expósito-Izquierdo, C., Brito-Santana, J., & Moreno-Pérez, J. (2019). *Greedy randomized adaptive search procedure to design waste collection routes in La Palma*. Computers & Industrial Engineering, 137. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106047>.
- Farrokhi-Asl, H., Makui, A., Ghousi, R., & Rabbani, M. (2020). *Developing a hazardous waste management system with consideration of health, safety, and environment*. Computers and Electrical Engineering, 82. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106553>.
- Farrokhi-Asl, H., Makui, A., Jabbarzadeh, A., & Barzinpour, F. (2018). *Solving a multi-objective sustainable waste collection problem considering a new collection network*. Operational Research, 20, 1977–2015. doi:<https://doi.org/10.1007/s12351-018-0415-0>.
- Fermani, M., Rossit, D., & Toncovich, A. (2019). *Un estudio comparativo de algoritmos metaheurísticos sobre instancias reales de problemas de recolección de RSU*. (tesis de pregrado, Universidad Nacional del Sur). Publisher: EduTecne: 379-388. https://www.researchgate.net/publication/337112217_Un_estudio_comparativo_de_algoritmos_metaheurísticos_sobre_instancias_reales_de_problemas_de_recoleccion_de_RSU.
- Flores, J. (2018). *Modelo heurístico de asignación de rutas para minimizar los costos operativos del Servicio de Transporte de Ruta de la empresa Brandom S.A.C, 2018*.

[tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34923>.

- Ganji, M., Kazemipoor, H., Hadji , S., & Sajadi , S. (2020). *A green multi-objective integrated scheduling of production and distribution with heterogeneous fleet vehicle routing and time windows*. Journal of Cleaner Production, 259. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120824>.
- Grajales, A., Hincapié, R., & Montoya, G. (2018). *Selección óptima de conductores en sistemas de distribución empleando el algoritmo búsqueda tabú*. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 26(2). Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052018000200283#aff1. DOI: <https://doi.org/10.4067/s0718-33052018000200283>.
- Guasmayan, F. (2018). *Solución del problema de ruteo de vehículos dependientes del tiempo utilizando un algoritmo genético modificado*. Scientia et Technica, 23(2), 12-34. DOI: <https://doi.org/10.22395/rium.v13n25a6>.
- Hannan, M., Akhtar, M., Begum, R., Basri, H., Hussain, A., & Scavino, E. (2018). *Capacitated vehicle-routing problem model for scheduled solid waste collection and route optimization using PSO algorithm*. Waste Management, 71, 31-41. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.019>.
- Huang, Y., Zhao, L., Woensel, T., & Gross, J. (2019). *Time-dependent vehicle routing problem with path flexibility*. Transportation Research Part B: Methodological, 95, 169 – 195. doi: 10.1016/j.trb.2016.10.013.
- Hvattum, L., Løkketangen, A., & Laporte, G. (2019). *Solving a Dynamic and Stochastic Vehicle Routing Problem with a Sample Scenario Hedging Heuristic*. Transportation Science, 40, 421-438. doi:<https://doi.org/10.1287/trsc.1060.0166>.
- Kumar, J., & Kumar-Singh, A. (2021). *Performance evaluation of metaheuristics algorithms for workload prediction in cloud environment*. Applied Soft Computing, 113. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107895>.
- León , Y., & Quispe, A. (2019). *Mejoramiento del Sistema de Recojo de Residuos Sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018*. [tesis de grado, Universidad Andina

del Cusco]. Repositorio UANDINA
<https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/2791>.

- Luna, P. (2018). *Propuesta de un plan para la recolección y transporte de los residuos sólidos generados en la ciudad de Tarapoto – provincia de San Martín, 2017*. [tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto]. Repositorio Institucional <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2855>.
- Miniguano, A. (2018). *Algoritmos Matheurísticos Para Un Problema De Planificación De Rutas Vehiculares Y Pedestres*. (tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional). Repositorio Digital EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19065>.
- Mostafayi, S., Moazzeni, S., & Hvattum, L. (2020). *Multi-objective sustainable location-districting for the collection of municipal solid waste: Two case studies*. *Computers & Industrial Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106965>.
- Murillo, E. (2018). *Modelo de Gestión de Residuos Sólidos basado en Programación Binaria y Simulación para reducir el Lead Time, Caso: Municipalidad de José Luis Bustamante y Rivero*. [tesis doctoral, Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa]. Repositorio UNSA <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11162>.
- Normasari, N., Yu, V., Bachtayar, C., & Sukoyo, V. (2019). *A Simulated Annealing Heuristic for the Capacitated Green Vehicle Routing Problem*. *Mathematical Problems in Engineering*, 18. doi:<https://doi.org/10.1155/2019/2358258>.
- Ocampo, E., Escobar, A., & Gallego, R. (2019). *Técnicas heurísticas y metaheurísticas*. Vol. 2. Pereira, Risaralda, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Rabbani, M., Heidari, R., Farrokhi-Asl, H., & Rahimi, N. (2018). *Using metaheuristic algorithms to solve a multi-objective industrial hazardous waste location-routing problem considering incompatible waste types*. *Journal of Cleaner Production*, 170, 227-241. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.029>.
- Raggio, R. (2021). *Un modelo y método metaheurístico, considerando elementos estocásticos para la recolección de residuos electrónicos en ciudades*. [tesis de maestría, Universidad de Concepción-Chile]. Repositorio Bibliotecas UDEC. <http://repositorio.udec.cl/handle/11594/9374>.

- Soto-Mejía, J., Solarte-Martínez, G., & Muñoz-Guerrero, L. (2018). *Localización del punto óptimo de partida en el problema de ruteo vehicular con capacidad restringida (CVRP)*. *Tecnura*, 23(59). <https://doi.org/10.14483/22487638.13653>.
- Tirkolae, E., Abbasian, P., Soltani, M., & Ghaffarian, A. (2019). *Developing an applied algorithm for multi-trip vehicle routing problem with time windows in urban waste collection: A case study*. *Waste Management & Research*, 37, 4-13. doi:<https://doi.org/10.1177/0734242X18807001>.
- Trochu, J., Chaabane, A., & Ouhimmou, M. (2019). *A two-stage stochastic optimization model for reverse logistics network design under dynamic suppliers' locations*. *Waste Management*, 95, 569-583. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.012>.
- Vives, M., & Gálvez, G. (s.f.). *Evaluar los tiempos y movimientos para mejorar el sistema de recolección convencional de residuos sólidos en la Ciudad de Bagua, Provincia de Bagua, Departamento de Amazonas - 2017*. (tesis de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas). Repositorio Institucional <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1327/Vives%20Carrasco%20-%20G%20a1lvez%20Calder%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Wei, L., Zhang, Z., Zhang, D., & Heung, S. (2018). *A simulated annealing algorithm for the capacitated vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints*. *European Journal of Operational Research*, 843-859. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2017.08.035>.
- Wu, H., Tao, F., & Yang, B. (2020). *Optimization of Vehicle Routing for Waste Collection and Transportation*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17. doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph17144963>.
- Yu, H., Sun, X., Solvang, D., Laporte, G., Lee, M., & Ka, C. (2020). *A stochastic network design problem for hazardous waste management*. *Journal of Cleaner Production*, 277. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123566>.
- Zhang, W., Gajpal, Y., Appadoo, S., & Wei, Q. (2020). *Multi-Depot Green Vehicle Routing Problem to Minimize Carbon Emissions*. *Sustainability*, 12. doi:<https://doi.org/10.3390/su12083500>.

ANEXOS

Cuestionario:

MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS

Propuesta:

Mejoramiento del sistema de ruteo vehicular en la recolección de basura en el distrito de Morales, aplicando un algoritmo metaheurístico.

Objetivo:

Aplicar una propuesta para el Mejoramiento del sistema de ruteo vehicular en la recolección de basura en el distrito de Morales, aplicando un algoritmo metaheurístico.

Instrucciones:

Lee detenidamente cada pregunta, marca con un aspa la respuesta que consideres se aproxima más a tu realidad. Los datos son netamente confidenciales, por lo que no debes suministrar tus datos personales en la presente encuesta.

Dimensión: Generación

1.- ¿Sabe qué son los desechos sólidos domiciliarios?

Si ____ A veces ____ No ____

2.- ¿Conoce la cantidad de desechos sólidos domiciliarios que genera su comunidad?

Si ____ A veces ____ No ____

3.- ¿Conoce el tipo de desechos sólidos domiciliarios que genera su comunidad?

Si ____ A veces ____ No ____

4.- ¿Realiza una correcta separación de sus desechos sólidos domiciliarios?

Si ____ A veces ____ No ____

Dimensión: Almacenamiento

5.- ¿Usa envases específicos para separar sus desechos sólidos domiciliarios?

Si ____ A veces ____ No ____

6.- ¿Ha recibido del Municipio recipientes especiales para separar sus desechos sólidos domiciliarios?

Si ____ A veces ____ No ____

7.- ¿El Municipio dispone de recipientes para que las personas en la calle depositen sus desechos sólidos domiciliarios que genera su comunidad?

Si ____ A veces ____ No ____

8.- ¿Considera necesario que el Municipio distribuya recipientes para que las personas en la calle depositen sus desechos sólidos domiciliarios que genera su comunidad?

Si ____ A veces ____ No ____

Dimensión: Recolección

9.- ¿En su barrio recolectan continuamente sus desechos sólidos domiciliarios?

Si ____ A veces ____ No ____

10.- ¿La frecuencia de esta recolección es suficiente?

Si ____ A veces ____ No ____

11.- ¿Cuentan con los recursos necesarios para realizar una recolección eficiente?

Si ____ A veces ____ No ____

12.- ¿Brindan un buen servicio de recolección a su comunidad?

Si _____ A veces _____ No _____

Dimensión: Disposición final

13.- ¿El lugar donde disponen los desechos sólidos domiciliarios reúne las condiciones necesarias (salubridad)?

Si _____ A veces _____ No _____

14.- ¿Cree que los monitoreos ambientales de calidad suelo y aire son necesarios en su comunidad?

Si _____ A veces _____ No _____

15.- ¿Considera que en el lugar del botadero municipal usado para la disposición final es un área de insalubre?

Si _____ A veces _____ No _____

Muchas gracias por su valiosa participación

Cuestionario:**MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS****Propuesta:**

Mejoramiento del sistema de ruteo vehicular en la recolección de basura en el distrito de Morales, aplicando un algoritmo metaheurístico.

Objetivo:

Aplicar una propuesta para el Mejoramiento del sistema de ruteo vehicular en la recolección de basura en el distrito de Morales, aplicando un algoritmo metaheurístico.

Instrucciones:

Lee detenidamente cada pregunta, marca con un aspa la respuesta que consideres se aproxima más a tu realidad. Los datos son netamente confidenciales, por lo que no debes suministrar tus datos personales en la presente encuesta.

1.- ¿Disponen de planos del Distrito?

Si ____ A veces ____ No ____

2.- ¿Poseen Diagramas del Recojo de Residuos Sólidos del Distrito?

Si ____ A veces ____ No ____

3.- ¿Disponen de Planos de Sectorización?

Si ____ A veces ____ No ____

4.- ¿Poseen manuales de procedimientos para el Recojo de Residuos Sólidos?

Si ____ A veces ____ No ____

5.- ¿Controlan el registro de producción del servicio por día?

Si ____ A veces ____ No ____

6.- ¿Llevan un registro de la disponibilidad de las unidades recolectoras?

Si ____ A veces ____ No ____

7.- ¿Se introduce constantemente la tecnología para mejorar las operaciones?

Si ____ A veces ____ No ____

8.- ¿Usan algoritmos u otros sistemas para optimizar el proceso de recojo?

Si ____ A veces ____ No ____

9.- ¿Se preocupan por mejorar el ruteo de recolección de residuos?

Si ____ A veces ____ No ____

10.- ¿En la actualidad se requiere de algoritmos para optimizar los procesos?

Si ____ A veces ____ No ____

11.- ¿Tiene conocimiento del uso de los algoritmos?

Si ____ A veces ____ No ____

12.- ¿Disponen de los equipos necesarios para la introducción de algoritmos u otros sistemas tecnológicos?

Si ____ A veces ____ No ____

Muchas gracias por su valiosa participación