TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"APLICACIÓN DEL MÉTODO SIMPLEX PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE VILLA MARÍA DEL TRIUNFO (LIMA METROPOLITANA)"

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:

Alejandra del Pilar Gutierrez Seguil (0000-0002-8553-8170)

Asesor:

Percy Andres Irribarren Ibañez (0000-0001-8833-5224)

Lima – Perú

2025

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 11 de agosto de 2025.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Alexander Emanuel Diaz Sotil
Miembro: Mg. Justhin Khalil Guevara Ramirez
Miembro: Mg. Catherine Mariela Coronado León

Se reúnen para evaluar la tesis, con código de proyecto 488-2021-PRE11, titulada :

"APLICACIÓN DEL MÉTODO SIMPLEX PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE VILLA MARÍA DEL TRIUNFO (LIMA METROPOLITANA)"

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Alejandra del Pilar Gutierrez Seguil**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Ing. Percy Irribarren Ibañez

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del tesista de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: Alejandra del Pilar Gutierrez Seguil			Nota (en letras): 16 (Dieciséis)
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena (X)	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Mg. Alexander Emanuel Diaz Sotil
Presidente



Mg. Justhin Khalil Guevara Ramirez
Miembro 1



Mg. Catherine Mariela Coronado León
Miembro 2



Ing. Percy Irribarren Ibañez
Asesor

ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN[1]

Lima, 04 de setiembre del 2025

Señor,
Dr. Carlos Zavalaga Reyes

Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

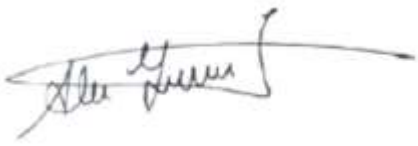
De nuestra consideración,

Yo: Alejandra del Pilar Gutierrez Seguil, egresado de la carrera de Ingeniería ambiental de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con el asesor de tesis Percy Irribarren Ibáñez, declaramos que este informe final de tesis de investigación titulado: APLICACIÓN DEL MÉTODO SIMPLEX PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE VILLA MARÍA DEL TRIUNFO (LIMA METROPOLITANA), sustentado para obtener el título de Ingeniera Ambiental es original.

Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de mi (nuestra) investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos [2], que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



Firma tesista
DNI: 72878024



Ing. Percy Irribarren Ibañez
Asesor
DNI:25595296

[1] En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD
[2] Los documentos están en: https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Aplicación del método simplex para la optimización de las rutas de recolección de residuos sólidos en el distrito de Villa María del Triunfo (Lima Metropolitana)

Autores. Alejandra del Pilar Gutierrez Seguil

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 2802576770).

Código de registro. 488-2021-PRE11

Resultado de la evaluación. 4%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.



Aplicación del método

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%	4%	3%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.gob.pe Fuente de Internet	1%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
3	qdoc.tips Fuente de Internet	<1%
4	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1%
6	PROINTO INGENIEROS S.A.C.. "DIA del Proyecto Relleno Sanitario, Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos y Planta de Separación de Residuos Inorgánicos Reciclables para la Ciudad de Chiquián, Provincia de Bolognesi, Departamento de Ancash-IGA0003854", R.D. N° 276-2015/DSB/DIGESA/SA, 2021 Publicación	<1%

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, por ser mi refugio y mi impulso. A mis padres, por sembrar en mí la disciplina, la valentía y la convicción de que todo esfuerzo tiene sentido, y a mis seres queridos que me acompañaron en cada momento, brindándome fortaleza y motivación para alcanzar mis objetivos.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la culminación de esta etapa. A mi familia, por su amor, comprensión y aliento constante. A mis padres, por su ejemplo de esfuerzo y perseverancia. A mis docentes y asesores, por compartir su conocimiento y orientarme con paciencia y rigor académico. Finalmente, a quienes, de una u otra forma, creyeron en mí y me acompañaron en este camino: gracias por ser parte de este logro.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA **1**

AGRADECIMIENTO **2**

ÍNDICE GENERAL **3**

ÍNDICE DE FIGURAS **7**

ÍNDICE DE TABLAS **8**

ÍNDICE DE ANEXOS **10**

RESUMEN **11**

ABSTRACT **12**

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **13**

II. MARCO TEÓRICO **15**

1. Antecedentes 15

2. Método *Simplex* 17

3. Método *Simplex* Primal 18

4. Método de Lagrange 19

5. Método de Barrera Logaritmo 19

6. Método Gran M 19

7. Rutas de recolección de residuos sólidos 23

8. Clasificación 23

8.1. Residuos municipales 23

8.2. Residuos peligrosos 24

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

9. Generación de Residuos sólidos 24

9.1. Estudio de caracterización de residuos sólidos 24

9.2. Sistemas de gestión de residuos sólidos 25

9.3. Factores de la generación de residuos 25

III. OBJETIVOS/HIPÓTESIS 25

10. Objetivo general 25

11. Objetivos específicos 25

IV. METODOLOGÍA 27

12. Área de estudio 27

13. Diseño de la investigación 31

14. Diseño metodológico 31

15. Establecimiento de los valores de las consideraciones requeridas en el Capítulo 2 Subcapítulo III del Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (D.S. Nº014-2017-MINAM): 32

16. Optimización del costo por vehículo recolector en las rutas de turno mañana y noche, considerando la capacidad de cada uno: 33

17. Aplicación el método *simplex* 36

18. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 43

18.1 Técnicas 43

18.2 Instrumentos 43

19. Procedimiento para la recolección de datos 43

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

20. Análisis e interpretación de datos 44

V. RESULTADOS 45

21. Parámetros considerados en el Capítulo 2 Subcapítulo III D.S. Nº014-2017-MINAM..... 45

22. Parámetros adicionales..... 46

23. Variables identificadas para el desarrollo de las ecuaciones 47

24. Aplicación del método simplex……..54

24.1. ZONA 1: JOSÉ GÁLVEZ 53

24.2. ZONA 2: INCA PACHACÚTEC..... 65

24.3. ZONA 3: RUTA CERCADO 71

24.4. ZONA 4: RUTA NUEVO MILENIO..... 78

24.5. ZONA 5: RUTA JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI..... 81

24.6. ZONA 6: RUTA NUEVA ESPERANZA 87

24.7. ZONA 7: RUTA DE TABLADA LURÍN 92

VI. DISCUSIONES..... 96

VII. CONCLUSIONES..... 99

VIII. RECOMENDACIONES 100

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 102

X. ANEXOS 107

Anexo 1. Ficha de Observación..... 107

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 2. Residuos Sólidos del Distrito de Villa María del Triunfo - Mayo 2023 109

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Clasificación de residuos sólidos* 23

Figura 2 *Mapa del distrito de Villa María del Triunfo* 31

Figura 3 *Descripción de la metodología* 34

Figura 4 *Gráfico de designación de cantidad de vehículos por cada ruta* 35

Figura 5 *Vehículo compactador* 53

Figura 6 *Vehículo baranda* 53

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Zonas del distrito de Villa María del Triunfo…….....32

Tabla 2 Capacidad, costo y cantidad por tipo de vehículo recolector ……35

Tabla 3 Cantidad de residuos sólidos producidos en cada ruta……...36

Tabla 4 Tabla inicial Simplex……..43

Tabla 5 Tabla Actualizada Simplex……...…42

Tabla 6 Parámetros identificados del Capítulo 2 Sub capitulo III D.L. N°014-2017MINAM……..46

Tabla 7 Parámetros adicionales identificados para el método simplex……..47

Tabla 8 Variables identificadas en la recolección de residuos sólidos……48

Tabla 9 Disponibilidad de Vehículos……50

Tabla 10 Sectores de recolección de residuos sólidos del distrito……..52

Tabla 11 Sectores de recolección de residuos sólidos del distrito……..53

Tabla 12. Variables identificadas para la zona José Gálvez……55

Tabla 13 Tabla simplex inicial……57

Tabla 14 Nueva Tabla simplex……..60

Tabla 15 Nueva Tabla simplex……..62

Tabla 16 Nueva Tabla simplex……..64

Tabla 17 Resumen de la ruta José Gálvez……65

Tabla 18 Variables identificadas para la zona Inca Pachacútec……66

Tabla 19. Tabla simplex inicial……68

Tabla 20 Nueva Tabla simplex……70

Tabla 21 Tabla simplex inicial……...71

Tabla 22 Resumen de la ruta Inca Pachacútec ……71

Tabla 23 Variables identificadas para la zona Cercado……72

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 24 Tabla simplex inicial……74

Tabla 25 Nueva Tabla simplex……..75

Tabla 26 Nueva Tabla simplex……..77

Tabla 27 Resumen de la Ruta Cercado……...78

Tabla 28 Variables identificadas para la zona Nuevo Milenio……..79

Tabla 29 Tabla simplex inicial……81

Tabla 30 Nueva Tabla simplex……..81

Tabla 31 Resumen de la Ruta Nuevo Milenio……82

Tabla 32 Variables identificadas para la zona Nueva Esperanza……82

Tabla 33 Tabla simplex inicial……85

Tabla 34 Nueva Tabla simplex……..…85

Tabla 35 Nueva Tabla simplex……..87

Tabla 36 Resumen de la Ruta José Carlos Mariátegui ……88

Tabla 37 Variables identificadas para la zona Nueva Esperanza……...89

Tabla 38 Tabla simplex inicial……91

Tabla 39 Nueva Tabla simplex……..92

Tabla 40 Resumen de la Ruta Nueva Esperanza……..92

Tabla 41 Variables identificadas para la zona Tablada Lurín……..93

Tabla 42 Tabla simplex inicial……94

Tabla 43 Nueva Tabla simplex……..…96

Tabla 44 Resumen de la ruta de Tablada Lurín……96

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ficha de Observación 109

Anexo 2. Residuos Sólidos del Distrito de Villa María del Triunfo - Mayo 2023 109

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

RESUMEN

Este estudio aborda la optimización del manejo operativo del recojo de residuos sólidos en Villa María del Triunfo, optimizada mediante la aplicación del algoritmo *simplex*. El objetivo central de este estudio fue lograr la optimización de las rutas empleadas en el proceso de recolección aplicando esta metodología. Siguiendo un diseño no experimental y descriptivo, se analizaron parámetros del Reglamento de Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (D.S. Nº 014.2017-MINAM), recopilando datos de vehículos, rutas, horarios y frecuencias para balancear la oferta del servicio con la demanda. Esta técnica de optimización matemática redujo significativamente los costos operativos diarios por camión, estimados inicialmente en S/14,185.32. Se optimizó la flota de 15 camiones compactos y 3 camiones baranda, ajustando su capacidad de carga (10 m^3 para compactadores y 4.16 t para baranda) y fijando límites operativos de 60 km y 6 horas diarias. El modelo consideró la variabilidad del distrito, con distancias de recolección entre 8,110 m (Nuevo Milenio) y 61,213 m (José Carlos Mariátegui), y una generación diaria de residuos que oscila entre 165.76 t y 2,625.73 t en dichas zonas. En conclusión, este modelo matemático mejoró sustancialmente la eficiencia de las rutas, adaptando la flota y optimizando los costos operativos, en cumplimiento con la normativa.

Palabras claves: Método *Simplex*, residuos, optimización, recolección, costos.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ABSTRACT

This study addresses the optimization of operational management of solid waste collection in Villa María del Triunfo, optimized through the application of the simplex algorithm. The central objective of this study was to optimize the routes used in the collection process by applying this methodology. Following a non-experimental and descriptive design, parameters of the Regulations of the Comprehensive Solid Waste Management Law (D.S. No. 014.2017-MINAM) were analyzed, collecting data on vehicles, routes, schedules, and frequencies to balance service supply with demand. This mathematical optimization technique significantly reduced daily operating costs per truck, initially estimated at S/14,185.32. The fleet of 15 compact trucks and 3 sidewall trucks was optimized, adjusting their load capacity (10 m³ for compactors and 4.16 t for sidewalls) and setting operating limits of 60 km and 6 hours per day. The model considered the variability of the district, with collection distances between 8,110 m (Nuevo Milenio) and 61,213 m (José Carlos Mariátegui), and a daily waste generation ranging from 165.76 t to 2,625.73 t in these areas. In conclusion, this mathematical model substantially improved route efficiency, adapting the fleet and optimizing operating costs, in compliance with regulations.

.

Keywords: *Simplex* Method, waste, optimization, collection, costs.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El volumen de residuos sólidos generados ha aumentado de manera considerable, como consecuencia directa del rápido incremento poblacional, patrones de consumo exacerbados y el proceso de urbanización que incrementa la densidad poblacional urbana (Cetrulo et al., 2020). Anualmente, a escala mundial, se produce un volumen aproximado de 11.200 millones de t de residuos sólidos (RR.SS.); de acuerdo con estimaciones del Banco Mundial, la cantidad de desechos a nivel global aumentará en un 70 % hacia el año 2050 (Romero, 2022).

En Perú, durante 2021, la generación de desechos municipales urbanos alcanzó 5,750,049.13 t, mientras que la de residuos sólidos municipales (RSM) totalizó 8,214,355.9 t (MINAM , 2020). En dicho periodo, 0.58 kg/hab./día fue la generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios, mientras que 0.83 kg/hab./día fue residuos municipales, lo que representó un acumulado anual de 8,214,355.90 t. Dicha masa de residuos estuvo compuesta predominantemente por materia orgánica (56.70 %), seguida de residuos inorgánicos (20.94 %), no valorizables (12.66 %) y peligrosos (9.71 %). Se resalta que Lima Metropolitana es el principal productor de residuos sólidos a nivel nacional (Huiman, 2023).

La percepción pública tiende a asignar la responsabilidad por la acumulación de desechos sólidos a las entidades gubernamentales; no obstante, la gestión integral de residuos constituye una corresponsabilidad entre autoridades y ciudadanos (Chávez, 2021). Las administraciones municipales ostentan el deber de gestionar eficientemente los desechos para asegurar la salubridad y limpieza de los entornos urbanos.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

No obstante, esta responsabilidad inherente a los municipios, se evidencian deficiencias sistémicas significativas. De los 92 distritos identificados en el país, un número considerable requiere optimizar sus sistemas de administración de residuos, así como los servicios de recolección y saneamiento (MINAM , 2020). Actualmente, las metodologías empleadas para la fijación de tarifas por estos servicios a menudo se fundamentan en estimaciones de otros gobiernos locales, lo cual puede generar inequidades debido a las disparidades socioeconómicas entre los residentes de las diversas jurisdicciones (DEMUCA, 2002).

En el distrito de Villa María del Triunfo (VMT), la problemática en las rutas de recolección de RR.SS. se intensifica y se atribuye a una gestión deficiente de los mismos y a una escasa conciencia ecológica por parte de los vecinos (FOVIDA, 2018). Adicionalmente, los asentamientos humanos, en particular aquellos con difícil acceso geográfico, carecen de una adecuada sensibilización ambiental, lo que dificulta la caracterización o clasificación de los residuos sólidos; dicha deficiencia se vincula con desafíos en la organización de los gobiernos locales (Cuyubamba, 2019).

En este contexto, la responsabilidad de diseñar un plan de manejo eficiente de residuos, mediante acciones eficaces, recae primordialmente en la esfera municipal (Limache, 2021).

Conforme se ha indicado, uno de los factores determinantes que obstaculizan la completa y programada operatividad de la recolección, y que por tanto exacerban los efectos adversos en el manejo de RR.SS. María del Triunfo, es el componente económico asociado a dichas operaciones.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

II. MARCO TEÓRICO

1. Antecedentes

Márquez et al. (2019) hicieron un análisis en Villa Milpa Alta, Ciudad de México, orientada a perfeccionar la eficiencia de las rutas de recolección de RR.SS. mediante la implementación de un algoritmo de optimización inspirado en la conducta de colonias de hormigas. La metodología incluyó la aplicación del algoritmo con diferentes configuraciones, probando 30 veces cada una. La configuración óptima resultó ser $\beta = 3$, $\rho = 0.1$, 100 hormigas, y 400 iteraciones. Los hallazgos mostraron distancias entre 69.277 km y 73.089 km, con una desviación estándar de 0.900 km, indicando estabilidad en las soluciones. La mejor ruta recorrida fue de 69.277 km, superando el promedio general. La conclusión es que la metodología propuesta mejora significativamente la eficiencia operativa en comparación con métodos tradicionales, demostrando su aplicabilidad en problemas reales de recolección de residuos.

Mecías et al. (2023) desarrollaron su investigación en el cual optimizaron los itinerarios en el cantón San Lorenzo para la recolección de RR.SS. Durante la fase inicial del estudio, se procedió al diagnóstico de la situación actual relacionada con los residuos sólidos urbanos a través de un muestreo aleatorio simple aplicado a 372 predios. Mediante el uso de análisis estadísticos como ANOVA y Tukey, bajo un nivel de confianza del 95 %, se identificaron diferencias estadísticamente significativas en los tipos de residuos generados. Los resultados revelaron que los residuos orgánicos fueron el mayor porcentaje (62.59 %), siguiendo los residuos ordinarios (24.52 %) y los residuos plásticos (12.89 %), estimándose una producción diaria promedio de 0.60 kg/hab. Para la

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

reconfiguración de rutas óptimas, se utilizó el software ArcGIS 10.5, cuyos resultados optimizarán el servicio y proporcionarán una solución práctica para las generaciones presentes y venideras del cantón.

López (2023) optimizó las rutas para la recolección de RAE en Caleta Olivia y Comodoro Rivadavia utilizando dos metaheurísticas: el (cGA) y la mejora inspirada por la dinámica de grupos de hormigas (ACO). Se aplicaron en escenarios con 75, 105, 150 y 200 puntos de recolección. ACO demostró ser más eficiente, logrando la menor distancia recorrida en todos los escenarios, con diferencias significativas respecto a cGA. En Caleta Olivia, ACO redujo la distancia a 90.49 km en el mejor caso, mientras que en Comodoro Rivadavia logró 381.15 km en el escenario más desafiante. La conclusión es que ACO supera a cGA en la minimización de kilómetros recorridos, siendo más eficaz con la finalidad de incrementar la efectividad logística del recorrido asignado a la recolección.

Guamán et al. (2017) llevaron a cabo su estudio con el propósito de mejorar el sistema de recolección de RR.SS. en la ciudad de Ambato, implementando un modelo de distribución en red orientado a la disminución de gastos logísticos sumado a la eficiencia en la distribución de toneladas por ruta. Utilizando programación lineal y herramientas informáticas, se asociaron variables como las distancias transitadas, toneladas generadas, cantidad de vehículos disponibles, capacidad de carga y costos operativos., lo que resultó en una red flexible ajustada a las necesidades del sistema. Los resultados mostraron una reducción considerable en el costo diario de recolección, produciendo ahorros económicos y una reducción en el número de camiones de la flota. Esto

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

demuestra cómo el modelo de redes puede ser eficaz para cumplir con las demandas en torno al servicio de acopio de desechos, generando beneficios para la gestión municipal y los habitantes del cantón Ambato.

Carrasco y Díaz (2017) desarrollaron un proyecto de investigación orientado a optimizar las rutas de recolección de residuos sólidos para el servicio de limpieza pública, tomando como caso de estudio el distrito de Chiclayo. Para ello, emplearon la metodología Simplex como herramienta de optimización. La recopilación de datos incluyó entrevistas a los pobladores y el uso de la aplicación móvil My Tracks para registrar tiempos y distancias recorridas por los camiones recolectores.

Los resultados permitieron una redistribución más eficiente de los camiones compactadores, considerando la capacidad de cada uno y seleccionando las rutas más cortas hacia la planta de tratamiento. Esta optimización de los recorridos logró una reducción de más del 10% en la distancia total recorrida, mejorando así la eficiencia operativa del sistema de limpieza pública.

2. Método *Simplex*

A partir de su formulación en los años 40 por George Dantzig, el algoritmo se ha convertido en una técnica clave para abordar problemas estructurados de Programación Lineal (PL). Se trata de una herramienta matemática orientada a resolver problemas donde es necesario encontrar un valor óptimo (máximo o mínimo) de una función lineal, considerando un conjunto de condiciones o

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

restricciones que también se expresan de manera lineal (Moncayo & Muñoz, 2018).

Basado en principios algebraicos, el método *simplex* utiliza un proceso iterativo sistemático. Inicia a partir de una solución básica factible y, si esta no alcanza el objetivo funcional requerido (maximización o minimización), el algoritmo continúa evaluando de manera progresiva diferentes alternativas viables dentro de la región definida por las restricciones, hasta que se identifica el resultado óptimo y no es posible una mejora adicional (Flores & Flores, 2021).

Según Ramírez et al., (2022) desde una perspectiva algorítmica, no existe una diferencia sustancial entre los problemas de maximización y minimización, ya que la minimización de una función objetivo puede abordarse como la maximización de su negativo. La validez de la solución óptima está siempre condicionada al estricto cumplimiento de todas las limitaciones específicas impuestas, y la flexibilidad del modelo se manifiesta en su capacidad para operar dentro de dichas restricciones.

3. Método *Simplex* Primal

La técnica para desarrollar El método primal-dual de puntos interiores transforma desafíos de programación lineal en contextos desprovistos de limitaciones (no únicamente lineales). Se logra esto mediante la utilización del método de Lagrange para las restricciones y la técnica de Fiacco & McCormick para las condiciones de no negatividad (Arena, 2010).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

4. Método de Lagrange

Transforma problemas restrictivos de optimización que presentan ecuaciones igualitarias en planteamientos sin limitaciones, aplicándose particularmente en escenarios de programación no lineal.

$Minimizar\ f(x)$

$Sujeto\ a: g_i(x) = 0 \qquad i = 1, \dots\dots, m$

Donde $f. g_i: \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}$. El procedimiento para solucionar, inicialmente implica establecer la función Lagrangiana vinculada a este problema.

$$\mathcal{L}(x, y) = f(x) - \sum_{i=1}^{m} y_i * g_i(x)$$

5. Método de Barrera Logaritmo

La lógica fundamental del método radica en reformular un problema de minimización sujeto a restricciones de no negatividad, convirtiéndolo en una secuencia uniparamétrica de subproblemas de optimización que no presentan restricciones explícitas. De esta manera se presenta.

$Minimizar\ f(x) \qquad\qquad x \geq 0$

es reemplazado por la serie (en función de μ) de problemas sin restricciones, expresada por:

$$Minimizar\ B_\mu(x) = f(x) - \mu \sum_{j=1}^{n} \ln\,(x_j)$$

6. Método Gran M

El método de la Gran M se utiliza para solventar configuraciones de programación lineal en los casos en que al menos una de las restricciones

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

presenta un signo de desigualdad distinto a ≤, es decir, cuando las restricciones son del tipo ≥ o = (Pérez G. O., 2010).

Una vez completados los pasos anteriores, se procede a estructurar el modelo conforme al algoritmo matemático requerido para el problema, de la siguiente manera: a. Variables de decisión: se identifican dos tipos de variables; una con referencia y otra sin referencia. La variable con referencia, por ejemplo, sería el centro de distribución en una empresa con múltiples puntos de distribución. b. Variable sin especificar, como en el contexto de una entidad corporativa dedicada a la producción de una diversidad de bienes (Pérez P. R., 2019).

$$x_j \; para \; todo \; j = 1 \ldots \ldots n$$

En este contexto, el elemento representado por x constituye el parámetro sujeto a optimización conforme a la naturaleza específica del planteamiento, mientras que el componente 'j' especifica el número total de variantes productivas contempladas en el análisis. En cuanto a los parámetros decisionales con punto referencial, estos se caracterizan por establecer una localización inicial única vinculada a diversos puntos terminales, estructurándose según el formato indicado:

$$x_{ij} \; para \; todo \; i = 1, \ldots \ldots m; j = 1, \ldots \ldots n$$

Donde la variable x, que se optimizara según el tipo de problema, y está definida por dos subíndices: el subíndice "i", que representa los lugares asociados con las variables, y el subíndice "j", que indica la cantidad de variantes se debe de considerar en el problema. Por otro lado, la función objetivo es aquella que se desea optimizar; esta puede asumir dos enfoques para su optimización: uno

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

orientado a la maximización y otro a la minimización. Su expresión matemática es la siguiente:

Sin referencia:

$$Max\ o\ min(Z) = C_1x_1 + C_2x_2 + \cdots + C_nx_n$$

En forma general:

$$Max\ o\ Min\ f(x) = \sum_{j=1}^{n} C_j\ x_j$$

Las restricciones indican las limitadas disposiciones de los recursos disponibles para abordar el problema. Se expresan mediante la siguiente estructura matemática:

$$\begin{bmatrix} a_{11}a_{12}a_{1n} \\ a_{21}a_{22}a_{2n} \\ a_{m1}a_{m2}a_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{11}x_{12}x_{1n} \\ x_{21}x_{22}x_{2n} \\ x_{m1}x_{m2}x_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$$

Compuesta las matrices de coeficientes técnicos y de variables, las cuales se igualan ya que representan el recurso disponible. Además, se debe respetar la condición de no negatividad, la cual establece en las variables contempladas en el modelo deben tener valores iguales o superiores a cero.

$$x_j\ o\ x_{ij}| \geq 0$$

$donde$:

$$i = 1 \ldots\ldots m$$

$$j = 1 \ldots\ldots n$$

La elaboración del modelo matemático, que representa la integración de todas las formulas planteadas, puede describirse de la siguiente forma:

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Sin referencia

$$Max\ o\ Min(Z) = C_1x_1 + C_2x_2 + C_3x_3 + \cdots + C_nx_n$$

En las equivalencias se tiene:

$$Max\ o\ Min\ f(x) = \sum_{j=1}^{n} C_i\, x_j$$

C.S.R

$$\sum_{j=1}^{n} a_j\, x_j \leq b_j$$

$$x_j \geq 0\ para\ j = 1 \ldots . n$$

Las desigualdades dentro de las limitaciones pueden expresarse como menor o igual, mayor o igual, o igual, dependiendo de los recursos disponibles. Maximizar CX equivale a minimizar -CX, y viceversa. Las desigualdades AX <= b y AX >= b pueden reescribirse como -AX >= -b y -AX <= -b, respectivamente. Cuando el obtiene función 'Z' o función objetivo es finito, un vértice de la región resulta óptimo; Caso contrario si resultado no sea único, existirán otros vértices óptimos dentro de dicha región.

Al formular un modelo lineal, se debe evitar el uso de productos o logaritmos de variables, y las restricciones no deben permitir valores negativos. La función objetivo puede transformarse multiplicando por (-1). Además, se deben considerar propiedades aditivas y multiplicativas. Las variables no necesariamente deben ser enteras ni cumplir con la no negatividad. Una solución que cumple con las restricciones y maximiza o minimiza la función objetivo se considera óptima.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

7. Rutas de recolección de residuos sólidos

La ruta de recolección es el trayecto por el cual los vehículos recogen los residuos depositados por los habitantes. Es clave destacar que el diseño de estas rutas implica un proceso continuo de ajustes a lo largo del recorrido (Minga & Zhiminaycela, 2019).

8. Clasificación

Los desechos se categorizan, conforme al tratamiento que se les otorga. De acuerdo con la legislación peruana, estos se segmentan en peligrosos y no peligrosos. Asimismo, conforme el ente gubernamental responsable de su administración, se clasifican en municipales y no municipales (Valdivia, 2017). Como se ilustra en la Figura 1.

Figura 1

Clasificación de residuos sólidos



Nota: Residuos no municipales y municipales. Tomado de la clasificación de residuos (Valdivia, 2017)

8.1. Residuos municipales

Según Valdivia (2017) los residuos no municipales incluyen desechos peligrosos y no peligrosos generados en actividades de extracción, producción y servicios,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

tanto en instalaciones principales como auxiliares. Los residuos urbanos, según la administración municipal, incluyen desperdicios domésticos, residuos de la implementación de estrategias de higienización para espacios públicos, playas y actividades comerciales.

8.2. Residuos peligrosos

Son clasificados como residuos peligrosos aquellos que, por sus propiedades esenciales o por el tratamiento aplicado, implican una contingencia adversa para la salud humana o el entorno ambiental. Se clasifican como peligrosos si presentan propiedades como inflamabilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, toxicidad, radiactividad o capacidad patógena. Generación de RR.SS. el cual hace referencia a la producción de desechos sólidos por actividades humanas, que son descartados al no tener valor inmediato para el generador (Rodríguez & Baca, 2022).

9. Generación de Residuos sólidos

9.1. Estudio de caracterización de residuos sólidos

La caracterización de los desechos sólidos constituye un elemento esencial en el progreso de esta investigación, dado que permite obtener información primaria sobre la cantidad de residuos generados en las distintas regiones de competencia municipal, incluyendo aspectos como cantidad, densidad y composición. Este análisis, que debe actualizarse cada cinco años, se organiza en desglose de las etapas de diseño estratégico, ejecución en campo y evaluación de datos (Alcantara, 2024).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

9.2. Sistemas de gestión de residuos sólidos

Es esencial tener una correcta recolección de desechos, ya que una mala gestión puede generar problemas de salud y ambientales. Sin embargo, el 80% de los desechos se destinan a vertederos, y los altos costos municipales reducen la eficiencia al 50%, especialmente en transporte y recolección (Alcantara, 2024).

9.3. Factores de la generación de residuos

Según el INEI, la producción de desechos está relacionada con la población y las actividades productivas. El MINAM confirma que existe una relación directa con el crecimiento poblacional y económico, aunque también influyen los patrones de consumo, las áreas económicas y las prácticas socioculturales (Alcantara, 2024).

III. OBJETIVOS/HIPÓTESIS

10. Objetivo general

Evaluar la metodología *simplex* para la optimización de las rutas de recolección de residuos sólidos en el distrito de Villa María del Triunfo.

11. Objetivos específicos

- Analizar los valores de los parámetros requeridos en el Capítulo 2 Subcapítulo III del Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (D.S. Nº014-2017-MINAM).
- Aplicar el método *simplex* de la Gran M, estimando los parámetros necesarios para su implementación, con el fin de optimizar los costos de las rutas de recolección de residuos sólidos en el distrito de VMT.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

- Definir los sectores de recolección de residuos sólidos en el distrito de VMT.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

IV. METODOLOGÍA

12. Área de estudio

Quesada et al. (2020) se localiza en la parte meridional de Lima Metropolitana y es reconocido como uno de los más extensos y densamente poblados de la capital. Este distrito forma parte de los doce que componen dicha zona, abarcando una superficie de 70.54 km². Se sitúa a una altitud promedio de 163 msnm y se caracteriza por un relieve variado que incluye áreas planas, lomas y elevaciones montañosas de hasta 1,000 m. Limita por el sur con los distritos de Lurín y Pachacamac; por el norte con el distrito de San Juan de Miraflores; por el oeste con el distrito de Villa El Salvador y por el este con el distrito de La Molina; Administrativamente, el distrito de V.M.T se organiza por zonas como:, Cercado, José Carlos Mariátegui, Nueva Esperanza, Inca Pachacútec, Tablada de Lurín, Nuevo Milenio y José Gálvez.

En el año 2016, se registró la presencia de aproximadamente 240 asentamientos humanos en el distrito, localizados tanto en sectores urbanizados como en áreas del entorno desértico (Rimarachín, 2021). En relación con la zonificación territorial del distrito, se observa una delimitación específica de su zona desértica. Conforme a lo establecido en la Ordenanza N°1084, se prohíbe expresamente el asentamiento humano en las áreas catalogadas como Zonas de Tratamiento Paisajista (PTP), también en aquellas identificadas como zonas de riesgo por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), con el propósito de prevenir la exposición de la población a condiciones de vulnerabilidad física. De manera complementaria, dicha norma reconoce la existencia de una Zona de Tratamiento Especial (PTE) en el distrito, destinada a actividades de extracción minera.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

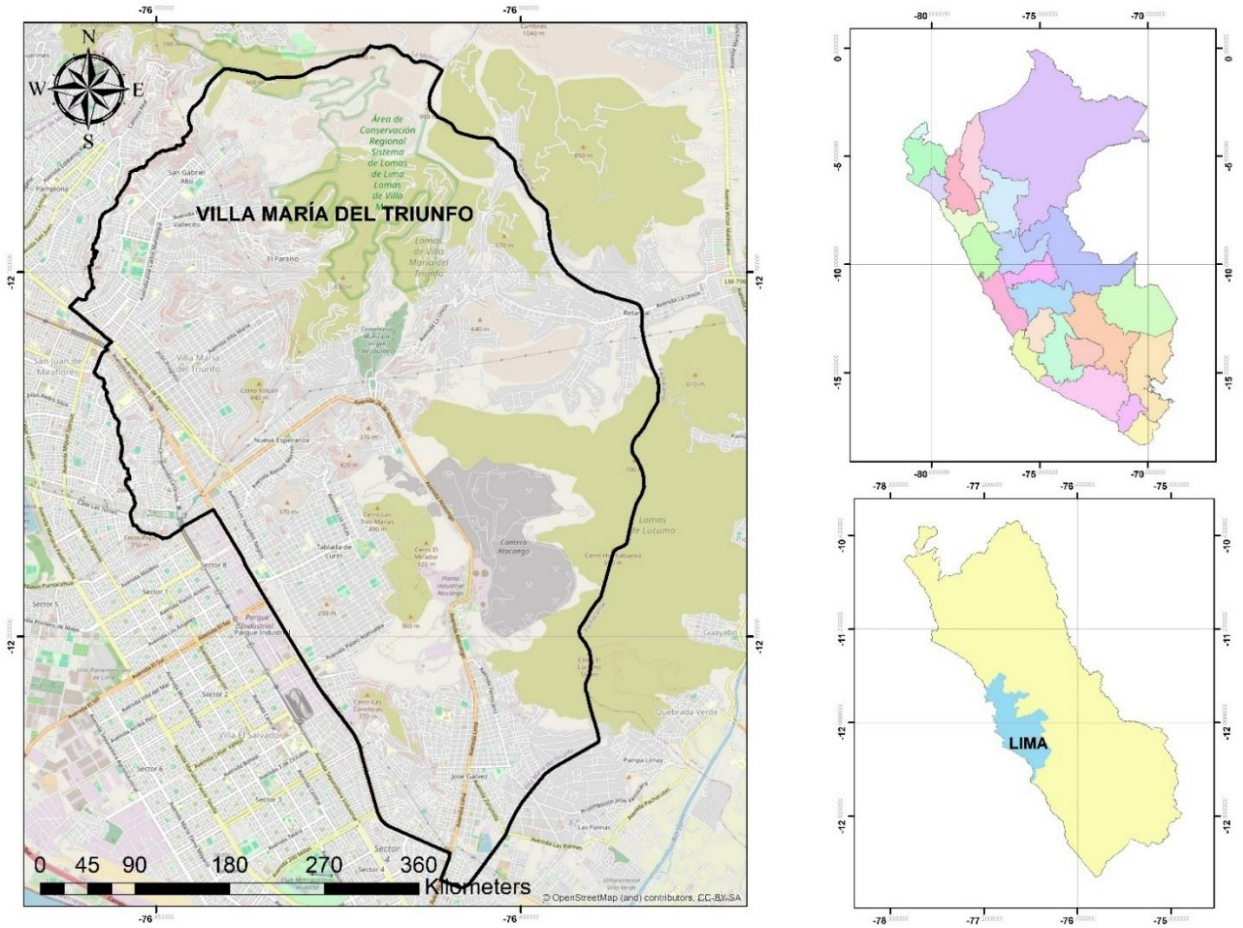
Esta área, administrada por la empresa UNACEM, debe operar bajo la adhesión estricta de los marcos legales vigentes relacionadas con el medio ambiente, garantizando condiciones de protección y seguridad para el entorno. En esta zona, tanto las Juntas Vecinales como los titulares de propiedades están obligados a presentar los Estudios Ambientales correspondientes, los cuales deben abordar el Saneamiento Físico-Legal y las condiciones de Seguridad Física del área. Además, es requisito contar con un Planeamiento Integral que defina de manera precisa los usos del suelo, diferenciando entre actividades productivas y no productivas (Rimarachín, 2021).

La figura que sigue exhibe el mapa de ubicación del distrito, dentro de la capital Lima, Perú:

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 2

Mapa del distrito de Villa María del Triunfo



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Dentro del distrito, la zona de José Carlos Mariátegui destaca por su elevada concentración poblacional, llegando a reunir aproximadamente un tercio del total de habitantes. En contraste, Tablada de Lurín, una de las áreas más nuevas, representa solo el 2% de la población.

En las últimas décadas, el desarrollo urbano ha sido desorganizado, lo que ha afectado negativamente a las zonas verdes del distrito, tal como se muestra en la Figura 2. Villa María del Triunfo acoge a las 'Lomas de Paraíso' considerado el ecosistema más grande de Lima, que se ha establecido como su principal atractivo turístico. La Tabla 1 detalla las zonas involucradas en el proyecto (Municipalidad Distrital de Villa María del Triunfo, 2023).

La generación total de desechos sólidos en el distrito es de 449.773 kg/día, equivale a (GPC) municipal de 1.04 kg/día. La mayor parte de estos residuos proviene de fuentes domiciliarias, que representan 314.548 kg/día, seguidos por mercados con 66.98 kg/día, y establecimientos comerciales con 35.14 kg/día. Otras fuentes como instituciones educativas y restaurantes también contribuyen, aunque en menor medida (Melgarejo, 2022).

La siguiente tabla representa las 7 zonas del distrito lugar de estudio:

Tabla 1

Zonas del distrito V.M.T

Zonas del distrito de Villa María del Triunfo	
Zona 1	José Carlos Mariátegui
Zona 2	Cercado
Zona 3	Inca Pachacútec
Zona 4	Nueva Esperanza
Zona 5	Tablada de Lurín
Zona 6	José Gálvez
Zona 7	Nuevo Milenio

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Nota: Modificado de Plan de Gobierno de VMT 2019-2022.

13. Diseño de la investigación

La presente indagación se inscribe en el marco del enfoque básico, al estar orientada a la descripción y comprensión de las variables planteadas previamente, sin buscar su aplicación inmediata. En consecuencia, se adopta un diseño metodológico no experimental, considerando no ejecutara manipulación deliberada sobre las variables. El estudio será de tipo descriptivo, pues se procederá a identificar y categorizar las variables junto con sus respectivos niveles, conforme al planteamiento de las hipótesis, permitiendo así analizar su posible incidencia en el fenómeno investigado. Además, se establece un diseño transversal, en tanto la obtención de información se realizará en una sola ocasión temporal, reflejando una visión estática del objeto de estudio.

14. Diseño metodológico

La Figura siguiente presenta una descripción de las normas y métodos empleados en el estudio, abordando los procedimientos de obtención de data, criterios de análisis y directrices metodológicas aplicadas:

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 3

Descripción de la metodología



15. Establecimiento de los valores de las consideraciones requeridas en el Capítulo 2 Subcapítulo III del Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (D.S. Nº014-2017-MINAM):

Los parámetros son los siguientes :

- Tipos de vehículos.
- Establecimiento de rutas.
- Horarios y frecuencia de recolección.
- Difusión de estos aspectos a la comunidad.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Los parámetros considerados en este estudio se fundamentan en lo establecido en el Capítulo 2 Subcapítulo III del Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (D.S. Nº014-2017-MINAM), que regula la Gestión Integral de Residuos Sólidos, por tratarse de una normativa que contempla los principales factores vinculados al procedimiento de acopio de dichos residuos. La data correspondiente fue proporcionada por el personal de la Subgerencia respectiva, quienes facilitaron la información esencial para la identificación y valoración de los indicadores analizados.

16. Optimización del costo por vehículo recolector en las rutas de turno mañana y noche, considerando la capacidad de cada uno:

El horario de recolección varía según los días de la semana. Se presenta en el turno diurno la ventaja de costos más bajos, pero la desventaja de alto tráfico. En cambio, el tráfico nocturno es menor y el clima es favorable, aunque el costo de recolección es más elevado, debido a que se requiere de personal que trabaje en horario nocturno (Farez & Huanca, 2021).

Se empleó el método de optimización *simplex* orientado a la minimización, motivo por el cual se consideraron variables como la capacidad operativa de cada tipo de unidad recolectora, el costo asociado a su operación y la cantidad total de vehículos disponibles para el servicio.

Se trata de un procedimiento algorítmico que facilita la obtención de soluciones óptimas —máximas o mínimas— para funciones objetivo en el contexto de problemas de programación lineal, considerando las restricciones aplicables al caso (Jaramillo, 2020).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

La siguiente tabla presenta la capacidad de carga, costo unitario y cantidad óptima de camiones compactadores y baranda para el acopio de desechos:

Tabla 2

Capacidad, costo y cantidad por tipo de vehículo recolector

Capacidad (Tn)	Vehículo	Costo (S/)	Cantidad de vehículos óptimos
M	Camión compactador	10,590.98	15
N	Camión baranda	3594.34	3

Nota: Adaptado del Plan de rutas de recolección de residuos sólidos municipales de Villa María del Triunfo (2020)

Se requieren 15 camiones compactadores, cada uno con un costo de S/ 10,590.98, lo que representa un total de S/ 158,864.70; y 3 camiones baranda, cada uno con un costo de S/ 3,594.34, sumando S/ 10,783.02. Esto indica que el camión compactador, a pesar de su mayor costo unitario, es el principal recurso operativo por su mayor requerimiento, mientras que el camión baranda cumple un rol complementario en la recolección.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 3

Cantidad de residuos sólidos producidos en cada ruta

Rutas	Cantidad de residuos sólidos producidos (Tn)
José Carlos Mariátegui	2625.73
Villa María del Triunfo (Cercado)	1720.00
Inca Pachacútec	1861.79
Nueva Esperanza	1309.94
San Francisco de la Tablada de Lurín	1190.64
Villa Poeta José Gálvez	1146.19
Nuevo Milenio	165.76

Nota: Adaptado del Modificado de Plan de rutas de recolección de residuos sólidos municipales de Villa María del Triunfo (2020).

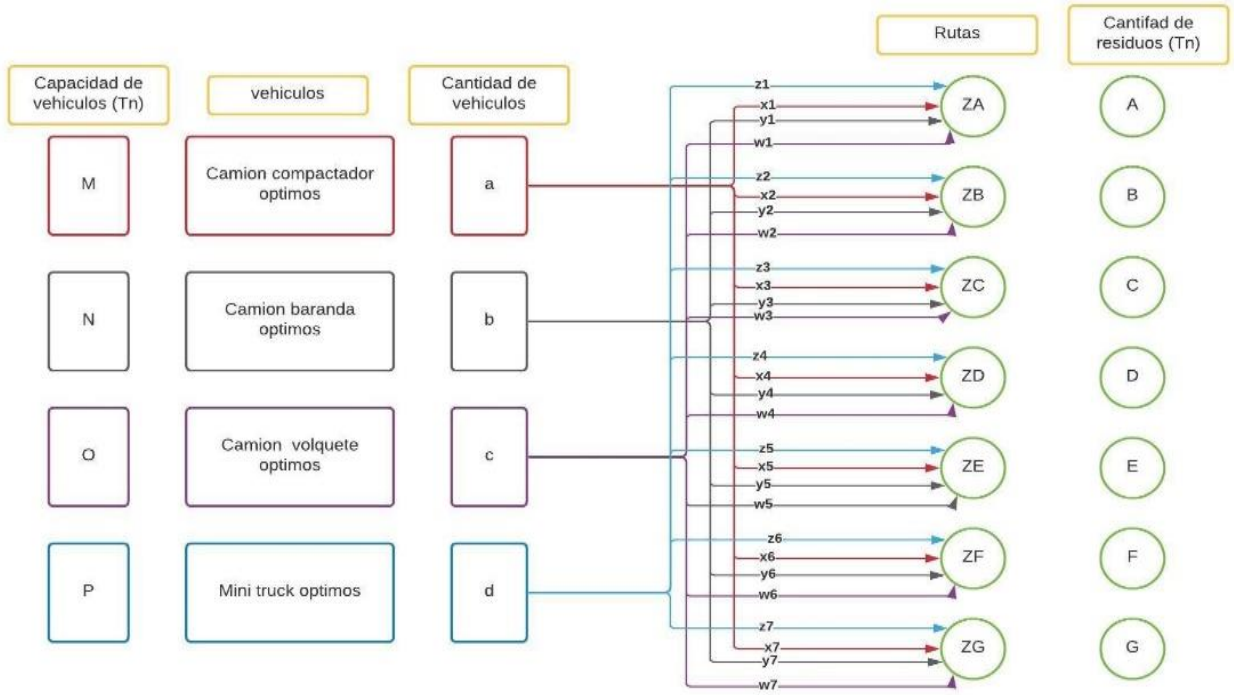
Se evidencia que José Carlos Mariátegui es la zona con mayor generación con 2625.73 t, seguida por Inca Pachacútec con 1861.79 t, Cercado con 1720.00 t y Nueva Esperanza con 1309.94 t. Le siguen Tablada de Lurín con 1190.64 t, Villa Poeta José Gálvez con 1146.19 t, y finalmente Nuevo Milenio, que registra la menor cantidad con 165.76 t.

La siguiente figura muestra la designación de vehículos para las diferentes rutas:

Figura 4

Gráfico de designación de cantidad de vehículos por cada ruta

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis



17. Aplicación el método *simplex*

Formulación del problema

Función Objetivo: Minimizar el costo total de la operación.

$$Z = 14185.32 \sum_{i=1}^{6} x_1$$

Donde Z es Costo total de operación diario, 14185.32 es el costo operativo por camión y $\sum_{i=1}^{6} x_1$ es la sumatoria del número de viajes realizados por cada camión tipo 1, donde i varía de 1 a 6, que representa la cantidad de camiones.

La función objetivo $Z = 14185.32 \sum_{i=1}^{6} x_1$ tiene como propósito reducir el gasto total de operación diaria de los camiones recolectores de residuos sólidos. En esta ecuación, Z representa el costo total diario que se desea minimizar. El valor 14185.32 es el costo operativo diario de un solo camión, y $\sum_{i=1}^{6} x_1$ es la sumatoria de los desplazamientos efectuados por cada uno de los seis camiones en uso.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Restricciones

Capacidad total de recolección

$$10\sum_{i=1}^{6} x_1 \geq 37.8$$

Distancia recorrida

$$4223\sum_{i=1}^{6} x_1 \geq D$$

Tiempo de operación

$$6\sum_{i=1}^{6} x_1 \leq T$$

No Negatividad

$$x_i \geq 0$$

Considerando la información anterior:

$\sum_{i=1}^{6} x_1$ es la sumatoria del número de viajes realizados por cada camión tipo 1, donde i varía de 1 a 6, que representa la cantidad de camiones, 10 representa la capacidad de carga del camión en metros cúbicos (utilizados 10 m³ de los 20 m³ disponibles), 37.8 es la capacidad total de recolección requerida en toneladas, 4223 es la distancia recorrida por cada camión en metros, D es la distancia máxima permitida, 6 es el tiempo de operación por camión en horas por día, T es el tiempo máximo permitido para la operación diaria de los camiones, x_i Número de viajes del camión y $x_i \geq 0$ representa la limitación de no aceptar números negativos, especificando que la cantidad de viajes no puede tener un valor inferior a cero.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Se debe transformar las desigualdades en igualdades a través de la incorporación de variables de holgura. Esto permite que el problema sea resuelto utilizando el método *simplex*. Las variables de holgura reflejan la porción "no utilizada" de cada recurso (capacidad, distancia, tiempo) y ayudan a convertir las desigualdades en ecuaciones de igualdad.

Restricciones Convertidas

Capacidad total de recolección

$$10\sum_{i=1}^{6} x_i - s_1 = 37.8$$

Distancia recorrida

$$4223\sum_{i=1}^{6} x_1 + s_2 = D$$

Tiempo de operación

$$6\sum_{i=1}^{6} x_1 + s_3 = T$$

No Negatividad

$$x_1, s_1, s_2, s_3 \geq 0$$

$\sum_{i=1}^{6} x_1$ es la sumatoria del número de viajes realizados por cada camión tipo 1, donde i varía de 1 a 6, 10 es la capacidad de carga del camión en metros cúbicos, 37.8 es la capacidad total de recolección requerida en toneladas, 4223 es la distancia recorrida por cada camión en metros, D es la distancia máxima permitida, 6 es el tiempo de operación por camión en horas por día, T es el tiempo máximo permitido para la operación diaria de los camiones, x_1 es el

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

número de viajes del camión tipo i, s_1 es la variable de holgura para la capacidad de recolección, s_2 Variable de holgura para la distancia recorrida, s_3 es la variable de holgura para el tiempo de operación, $x_1, s_1, s_2, s_3 \geq 0$ es la limitación que impide que las variables tengan valores negativos.

La estandarización del modelo requiere introducir variables de holgura, las cuales cumplen la función de convertir las restricciones expresadas como desigualdades en ecuaciones de igualdad, permitiendo así su tratamiento en el marco del método *simplex*. Las variables de holgura (x_1, s_1, s_2, s_3) se añaden a las restricciones para representar los recursos no utilizados. En la restricción de capacidad total de recolección, s_1 se resta de la suma de las capacidades de carga para asegurar que la recolección total sea al menos 37.8 t. En la restricción de distancia recorrida, s_2 se suma para asegurar que la distancia total no exceda *D*. En la restricción de tiempo de operación, s_2 se suma para asegurar que el tiempo total no exceda *T*.

Capacidad total de recolección

$$10x_1 + 10x_2 + 10x_3 + 10x_4 + 10x_5 + 10x_6 - s_1 = 37.8$$

Distancia Recorrida

$$4223x_1 + 4223x_2 + 4223x_3 + 4223x_4 + 4223x_5 + 4223x_6 + s_2 = D$$

Tiempo de Operación

$$6x_1 + 6x_2 + 6x_3 + 6x_4 + 6x_5 + 6x_6 + s_3 = T$$

Función Objetivo

$$Z = 14185.32x_1 + 14185.32x_2 + 14185.32x_3 + 14185.32x_4 + 14185.32x_5 + 14185.32x_6$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

La tabla inicial del método *simplex* organiza las variables de decisión $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ y las variables de holgura (s_1, s_2, s_3) junto con la función objetivo y las restricciones:

Tabla 4

Tabla inicial Simplex

VB	X1	X2	X3	X4	X5	X6	S1	S2	S3	Solución
S1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	37.8
S2	0	0	1	0	0	1	0	1	0	D
S3	0	1	0	0	0	0	0	0	1	T
Z	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0

VB: Variables Básicas, las variables de holgura (s_1, s_2, s_3) que inicialmente están en la base, $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ son las variables de decisión, son los número de viajes de cada camión, s_1, s_2, s_3 son las variables de holgura son las restricciones como capacidad, distancia y tiempo, respectivamente y Z es la fila de la función que se desea minimizar.

En esta tabla, cada fila representa una restricción convertida en una ecuación de igualdad mediante la adición de variables de holgura, mientras que la función Z muestra los números negativos de las variables de decisión para minimizar *Z*. La primera fila muestra la restricción de capacidad de recolección con coeficientes 10 para cada x_1 y 1 para s_1, y una solución de 37.8. La segunda fila muestra la restricción de distancia recorrida con coeficientes 4223 para cada x_1 y 1 para s_2, con una solución de *D*. La tercera fila muestra la restricción de tiempo de operación con coeficientes 6 para cada x_1 y 1 para s_3, con una solución de *T*.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Paso 1: Identificar la Variable Entrante

Se selecciona la variable que contenga el número más negativo en la fila Z, ya que esto indicará la variable que puede reducir más rápidamente el valor de *Z*. En la tabla inicial, todas las variables de decisión $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ tienen el mismo coeficiente negativo de −14185.32. se selecciona cualquiera de ellas, por ejemplo, x_1.

Paso 2: Identificar la Variable Saliente

Para determinar la variable saliente, se calculó ratio para cada fila, y se seleccionó la fila con el menor ratio positivo. Esto garantiza que no excede las restricciones:

$$\text{Para} \quad s_1 = \frac{37.8}{10} = 3.78$$

$$\text{Para} \quad s_2 = \frac{D}{4223}$$

$$\text{Para} \quad s_3 = \frac{T}{6}$$

Paso 3: Actualizar la Tabla *Simplex*

Se transformó la fila de la variable saliente (s_1) para que la variable entrante (x_1) tenga un coeficiente de 1. Luego, se actualizó las otras filas para mantener el sistema de ecuaciones en equilibrio.

Nueva Fila para x_1

$$x_1 = 3.78 - 0.1s_1$$

En la siguiente tabla se actualizó las otras restricciones y la función objetivo para reflejar esta nueva fila.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 5

Tabla Actualizada Simplex

VB	X1	X2	X3	X4	X5	X6	S1	S2	S3	Solución
X1	1	1	1	1	1	1	0.1	0	0	3.78
S2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	D-4223*3.78
S3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	T-6*3.78
Z	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14185.32*3.78

Repetimos los pasos 1 a 3, seleccionando la siguiente variable entrante y la correspondiente variable saliente, mientras persistan datos negativos en la fila Z, el proceso continúa; al desaparecer éstos, se alcanza la solución óptima.

El método *simplex* comienzan identificando la variable entrante con el coeficiente más negativo para reducir el valor de Z. Luego, se determina la variable saliente calculando el ratio mínimo correspondiente al coeficiente de la variable entrante y la solución, asegurando el cumplimiento de las restricciones. Se actualiza la tabla *simplex* transformando la fila de la variable saliente para que la variable entrante tenga un coeficiente de 1, y ajustando las otras filas. Este proceso se repite, seleccionando nuevas variables entrantes y salientes y actualizando la tabla, hasta que no queden datos negativos en la fila de la función Z.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

18. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

18.1 Técnicas

Observación Directa: Este procedimiento de compilación de información se basa en un sistema estructurado de categorías y subcategorías que permite documentar, de forma ordenada, válida y confiable, los comportamientos y eventos que pueden ser observados empíricamente (Hernández & Mendoza, 2018).

18.2 Instrumentos

Ficha de Observación: La ficha de observación fue diseñada con ítems clave para perfeccionar las rutas de acopio de desechos sólidos, registrando variables como el recorrido, kilómetros recorridos, cantidad recolectada y otros aspectos operativos, permitiendo sistematizar la información de campo y facilitar el análisis comparativo entre rutas para identificar puntos críticos de mejora.

19. Procedimiento para la recolección de datos

La recolección de datos para optimizar todos los recorridos de los vehículos recolectores de desechos sólidos en el distrito de VMT se llevó a cabo mediante el uso de la Ficha de Observación. Este instrumento permitió registrar actividades de recolección, detalles de rutas y vehículos utilizados. La ficha de observación proporcionó una visión completa del sistema actual, identificó oportunidades de mejora y fue tomado como base para aplicar la metodología *simplex* en la optimización de rutas, buscando soluciones eficientes y sostenibles.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

20. Análisis e interpretación de datos

La interpretación orientada al objetivo del estudio teniendo con base en los datos recopilados a través del empleo de una ficha de observación estructurada. Para garantizar la fiabilidad y coherencia de estos datos, se aplicó la estadística descriptiva, una medida de confiabilidad interna que evalúa los resultados obtenidos (Ocaña, Pérez, & Quijano, 2013).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

V. RESULTADOS

21. Parámetros considerados en el Capítulo 2 Subcapítulo III D.S. Nº014-2017-MINAM

La siguiente tabla detalla los parámetros establecidos por el Reglamento de la ley residuos sólidos D. S N° 014-2017.MINAM de Perú para la recolección de RR.SS., incluyendo los tipos de vehículos designados para esta labor, específicamente camiones compactadores con una cabida de 10 t y camiones baranda con una capacidad de 4.16 t, son empleados en consonancia con las especificidades de los sectores a recolectar.

Tabla 2

Parámetros identificados del Capítulo 2 Sub capitulo III D.L. N°014-2017-MINAM

Parámetros identificados	Tipos de vehículos para la recolección de residuos sólidos	
	Camión compactador de 10 T	
	Camión baranda de 4.16 T	
	Establecimiento de rutas de recolección de residuos sólidos	
	Sectores de recolección de residuos sólidos	Distancia recorrida por sector
	José Carlos Mariátegui	61213
	Villa María del Triunfo (Cercado)	39940
	Inca Pachacútec	19706
	Nueva Esperanza	33793
	San Francisco de la Tablada de Lurín	45010
	Villa Poeta José Gálvez	36736
	Nuevo Milenio	8110
	Horarios de recolección de residuos sólidos	
	8: 00 AM - 1:00 PM	
	3:00 PM - 9:00 PM	
	Frecuencia de recolección de residuos sólidos	
	Recolección con frecuencia diaria	

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

El establecimiento de rutas está segmentado en diferentes sectores, con distancias que oscilan entre los 8,110 m en el sector Nuevo Milenio y los 61,213 m en José Carlos Mariátegui, lo que implica una planificación detallada para cubrir eficientemente cada área. Los horarios de recolección están divididos en dos turnos, de 8:00 AM a 1:00 PM y de 3:00 PM a 9:00 PM, lo que permite un manejo continuo y efectivo de los residuos a lo largo del día. Además, se establece una frecuencia de recolección diaria, asegurando que todos los sectores sean atendidos regularmente, lo que contribuye a mantener la limpieza y salubridad en las áreas urbanas cubiertas.

22. Parámetros adicionales

La siguiente tabla indica los parámetros adicionales que serán aplicados al método La tabla inicial del método *simplex* organiza las variables de decisión $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$ y las variables de holgura (s_1, s_2, s_3) junto con las restricciones y la función objetivo. En esta tabla, cada fila representa una restricción convertida en una ecuación de igualdad mediante la adición de variables de holgura, mientras que la fila de la función Z muestra los coeficientes negativos. La cantidad de viajes requeridos para la recolección de residuos sólidos depende del sector en el que se lleve a cabo la operación.

Tabla 3

Parámetros adicionales identificados para el método simplex

Parámetros adicionales	Valores
Número de viajes del camión tipo	Según el sector
Capacidad de carga del camión tipo	Según el tipo de vehículo
Distancia máxima permitida	60 km

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tiempo máximo permitido	6 h
Capacidad total de recolección por día	Según el sector

Según el informe de la municipalidad del distrito, generalmente se realiza un solo viaje por día en cada sector. La capacidad de carga también depende del tipo de vehículo utilizado: el camión compactador tiene una capacidad que oscila entre 12 y 14 m³, mientras que el camión baranda puede transportar hasta 4.16 t, de acuerdo con el mismo informe de la municipalidad. En cuanto a la distancia máxima permitida, se ha establecido que no debe exceder los 60 km. Esta limitación se fundamenta en el hecho de que los vehículos utilizados para la recolección se desplazan a una velocidad promedio de 10 km/h y operan durante un máximo de 6 h al día, lo que da un total de 60 km recorridos como máximo. La capacidad total de recolección por día también está determinada por el sector, asegurando que se adapten tanto los vehículos como la planificación de rutas a las características específicas de cada área.

23. Variables identificadas para el desarrollo de las ecuaciones

En la siguiente tabla se detallan las variables identificadas en la recolección de RRSS:

Tabla 4

Variables identificadas en la recolección de residuos sólidos

Variables identificadas en la recolección de residuos sólidos	Valor
Número de viajes del camión tipo	1 viaje
Costo operativo diario del camión tipo	S/ 14185.32
Capacidad de carga del camión tipo	10 m³
Distancia recorrida desde el punto	Según la zona o sector

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tiempo de operación del camión	6 h
Número total de camiones disponibles	Según la zona o sector
Capacidad total de recolección por día	Según la zona o sector
Distancia máxima permitida	60 km
Tiempo máximo permitido	6 h

Nota:. Tomado del "Mapa de rutas de recolección del servicio de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad distrital de Villa María del Triunfo".

En el distrito estudiado, el acopio de residuos sólidos. Cada camión utilizado en la recolección tiene una capacidad de carga de 12 a 14 m³ en vehículos nuevos (CHENGLI GROUP, 2024), pero solo se considera 10 m³, lo que determina el volumen de residuos que puede transportar en cada viaje. Estos camiones realizan un viaje diario para recoger los residuos, y el costo operativo diario por camión es de S/.14,185.32. Este costo incluye varios componentes clave: el combustible necesario para operar el camión, el mantenimiento regular y las reparaciones necesarias para mantener el vehículo en condiciones óptimas, el salario del personal que opera y gestiona el camión, y los costos administrativos que cubren la gestión y coordinación del servicio de recolección. El tiempo máximo permitido para la operación de cada camión es de 6 h diarias, lo que implica que el proceso de recolección debe ser completado dentro de este periodo para cumplir con los estándares operativos. La distancia máxima que un camión puede recorrer en un día de recolección está limitada a 60 km, lo que es crucial para garantizar que el camión pueda completar su ruta y regresar a la base dentro del tiempo estipulado sin comprometer la eficiencia del servicio. La distancia recorrida por el camión y la capacidad total de recolección por día dependen en gran medida de la zona o sector específico dentro del distrito. Esto

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

se debe a que diferentes áreas pueden tener diferentes volúmenes de residuos y distancias entre puntos de recolección.

La siguiente tabla señala la disponibilidad de vehículos por tipo y estado de este:

Tabla 5

Disponibilidad de Vehículos

Número de Placa	Tipo de Vehículo	Estado de la Unidad Vehicular
EGU-303	COMPACTA	OPERATIVO
EAC-736	COMPACTA	OPERATIVO
EAI-075	COMPACTA	OPERATIVO
EAI-072	COMPACTA	OPERATIVO
EAI-050	COMPACTA	OPERATIVO
EAC-819	COMPACTA	OPERATIVO
EAI-146	COMPACTA	OPERATIVO
EAI-104	COMPACTA	OPERATIVO
EAC-717	COMPACTA	OPERATIVO
EGU-179	COMPACTA	OPERATIVO
EAI-049	COMPACTA	OPERATIVO
EAI-055	COMPACTA	OPERATIVO
EAC-633	COMPACTA	OPERATIVO
EAC-822	COMPACTA	OPERATIVO
EAC-735	COMPACTA	OPERATIVO
EAC-653	BARANDA	OPERATIVO
EAF-658	BARANDA	OPERATIVO
EAF-648	BARANDA	OPERATIVO

Nota: Información de las unidades de residuos sólidos. Tomado del “Mapa de rutas de recolección del servicio de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad distrital de Villa María del Triunfo”.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

A continuación, se presentarán las figuras con las imágenes de los vehículos:

Figura 5

Vehículo compactador



Nota: Obtenida de la página de la municipalidad de VMT

Figura 6

Vehículo baranda



Nota: Obtenida de la página de la municipalidad de VMT

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

En el distrito, la flota de vehículos destinada a la recolección de residuos sólidos está conformada por 15 camiones compactos y 3 camiones tipo baranda, todos en estado operativo. Los camiones compactos, que son adecuados para áreas con calles estrechas y alta densidad de residuos, están bien equipados para manejar la recolección en zonas urbanas densas. Por otro lado, los camiones baranda, ideales para el transporte de residuos voluminosos o para zonas con accesos más difíciles, complementan la flota proporcionando capacidad adicional y versatilidad.

La siguiente tabla identifica la distancia recorrida en metros en relación a los sectores de recolección de RRSS:

Tabla 6

Sectores de recolección de residuos sólidos del distrito

Sectores de recolección de residuos sólidos	Distancia recorrida (m)
Nuevo Milenio	8110
Inca Pachacútec	19706
Nueva Esperanza	33793
José Gálvez	36736
Cercado	39940
Tablada de Lurín	45010
José Carlos Mariátegui	61213

***Nota*:** Metros recorridos de los sectores para recolección de residuos. Tomado del “Mapa de rutas de recolección del servicio de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad distrital de Villa María del Triunfo”.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Los sectores de acopio de RR.SS. en Villa María del Triunfo muestran diversas distancias recorridas: Cercado y Tablada de Lurín, con 39,940 y 45,010 m, respectivamente, tienen distancias amplias, reflejando zonas extensas o con alta demanda de recolección, y José Carlos Mariátegui, con 61,213 m, destaca como el sector con la mayor distancia recorrida, indicando una cobertura particularmente extensa o complicada (Tabla 10). De igual manera, José Gálvez con 36,736 m y Nueva Esperanza con 33,793 m tienen distancias considerables, sugiriendo áreas de tamaño medio a grande, mientras que Inca Pachacútec con 19,706 m y Nuevo Milenio con 8,110 m presentan distancias menores, lo que podría indicar áreas más compactas o con menos puntos de recolección (Tabla 10).

En la tabla muestra la cantidad acumulada de residuos sólidos recolectados en toneladas durante mayo, junio y julio, desglosada por zona.

Tabla 7

Sectores de acopio de residuos sólidos del distrito

Zona/meses	Cantidad de residuos sólidos (t)			
	Mayo	Junio	Julio	Total por zona
Zona I: JCM	2719.66	2861.80	2295.72	7877.18
Zona II: Cercado	1916.09	1462.47	1781.45	5160.01
Zona III: Inca Pachacútec	1764.92	2090.39	1730.06	5585.37
Zona IV: Nueva Esperanza	1336.88	1373.67	1219.28	3929.83
Zona V: Tablada de Lurín	1096.97	1079.46	1395.5	3571.93
Zona VI: José Gálvez	1167.97	1139.54	1131.05	3438.56
Zona VII: Nuevo Milenio	179.71	176.88	140.7	497.29

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Puntos críticos	1446.42	0	1195.02	2641.44
Total por meses	11628.62	10184.21	10888.78	32701.61

***Nota*:** Cantidad de residuos sólidos por kilos por sectores. Tomado del "Mapa de rutas de recolección del servicio de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad distrital de Villa María del Triunfo".

José Carlos Mariátegui lidera con 7,877.18 t totales (2,719.66 en mayo, 2,861.80 en junio y 2,295.72 en julio), seguida por la Zona II: Cercado con 5,160.01 t (1,916.09 en mayo, 1,462.47 en junio y 1,781.45 en julio) y la Zona III: Inca Pachacútec con 5,585.37 t (1,764.92 en mayo, 2,090.39 en junio y 1,730.06 en julio). La Zona IV: Nueva Esperanza acumuló 3,929.83 t (1,336.88 en mayo, 1,373.67 en junio y 1,219.28 en julio), la Zona V: Tablada de Lurín totalizó 3,571.93 t (1,096.97 en mayo, 1,079.46 en junio y 1,395.50 en julio) y la Zona VI: José Gálvez registró 3,438.56 t (1,167.97 en mayo, 1,139.54 en junio y 1,131.05 en julio). La Zona VII: Nuevo Milenio tuvo la menor acumulación con 497.29 t (179.71 en mayo, 176.88 en junio y 140.70 en julio). Además, los puntos críticos sumaron 2,641.44 t (1,446.42 en mayo y 1,195.02 en julio). En total, se recolectaron 32,701.61 t durante los tres meses, reflejando una variabilidad en la cantidad de residuos recogidos según la zona y destacando la necesidad de ajustar la recolección en función de la demanda de cada área.

24. Aplicación de método simplex

24.1. ZONA 1: JOSÉ GÁLVEZ

La zona de José Gálvez está conformada por sectores de recorrido (Tabla 12).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 8.

Variables identificadas para la zona José Gálvez

Variables identificadas	Valor
Número de viajes del camión tipo	1 viaje
Costo operativo diario del camión tipo	14185.32 S/.
Capacidad de carga del camión tipo	10 m³
Distancia recorrida desde el punto	4223 m
Tiempo de operación del camión tipo	6 h
Número total de camiones disponibles	3 camiones baranda disponibles
Capacidad total de recolección por día	55.8 t
Distancia máxima permitida	60 km
Tiempo máximo permitido	6 h

***Nota*:** Aspectos del recogido de los residuos sólidos. Tomado del "Mapa de rutas de recolección del servicio de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad distrital de Villa María del Triunfo".

Para optimizar la función Z con el método *simplex* de la Gran M, primero se debe formular el problema de optimización. Para hacerlo, se necesita definir las restricciones y la función del objetivo.

a. Formulación del Problema

Variables de decisión:

x_1: Número de viajes por día.

x_2: Capacidad total de recolección (en toneladas).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

b. Función objetivo

El objetivo es reducir el costo operativo total. Dado que cada viaje cuesta S/.14185.32, para ello la función objetivo es:

$$Minimizar\ Z = 14185.32 * x_1$$

c. Restricciones

- **Restricción 1:** Capacidad total de recolección no puede exceder 55.8 t/día.

$$x_2 \leq 55.8$$

- **Restricción 2:** El número total de viajes debe permitir recolectar el total permitido dentro del tiempo disponible y en función de la distancia.

Dado que cada camión tiene una capacidad de 10 m³:

$$10x_1 \leq x_2$$

- **Restricción 3:** Distancia recorrida por camión no debe exceder 60000 m.

$$36736x_1 \leq 60000$$

- **Restricción 4:** El tiempo máximo permitido es de 6 h por viaje.

$$Tiempo\ operativo\ por\ caminón \leq 60000$$

- **Restricción 5:** Número total de camiones disponibles es 3.

$$x_1 \leq 3$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

d. Conversión a Forma Estándar

Se convierte las restricciones a forma estándar, utilizando variables de holgura y penalización (M):

$$10x_1 - x_2 \leq 0 \; se\ agrega\ variable\ de\ holgura\ s_1$$

$$10x_1 - x_2 + s_1 = 0$$

$$36736x_1 \leq 60000 \; se\ agrega\ variable\ de\ holgura\ s_2$$

$$36736x_1 + s_2 = 60000$$

$$x_2 \leq 55.8 \; se\ agrega\ variable\ de\ holgura\ s_3$$

$$x_2 + s_3 = 55.8.$$

$$x_1 \leq 3 \; se\ agrega\ variable\ de\ holgura\ s_4$$

$$x_1 + s_4 = 3$$

e. Función Objetivo en Forma Estándar

$$Z = 14185.32x_1 + M(s_1 + s_2 + s_3 + s_4)$$

Tabla 9

Tabla simplex inicial

VB	Z	X1	X2	S1	S2	S3	S4	RS
S1	0	10	-1	1	0	0	0	0
S2	0	36736	0	0	1	0	0	60000
S3	0	0	1	0	0	1	0	55.8
S4	0	1	0	0	0	0	1	3
Z	1	-14185.32	0	-M	-M	-M	-M	0

La función objetivo es maximizar $Z = 14185.32x_1 + M(s_1 + s_2 + s_3 + s_4)$, donde M es una constante penalizadora. Las variables básicas (VB) incluyen las

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

variables de holgura (s_1, s_2, s_3, s_4), con sus respectivas contribuciones a la función objetivo y restricciones. La tabla indica que, en la propuesta inicial, el valor de holgura están en la base con valores iniciales de 0, y los coeficientes de x_1 y x_2 en la función objetivo son -14185.32 y 0 respectivamente, reflejando que el objetivo es maximizar el valor de x_1. Las restricciones se equilibran mediante las variables de holgura: $10x_1 - x_2 + s_1 = 0$, $36736x_1 + s_2 = 60000$, $x_2 + s_3 = 55.8$, y $x_1 + s_4 = 3$.

f. Procedimiento *Simplex*

Determinación de la variable entrante: La columna x_1 tiene el valor negativo más grande en la fila *Z*, por lo que x_1 entra en la base.

Determinación de la variable saliente: Se calculó el ratio RS/coeficiente de la variable entrante para cada fila:

- Para s_1 $\frac{0}{10} = 0$
- Para s_2 $\frac{60000}{36736} = 1.63$
- Para s_3 $\frac{55.8}{0} = \nexists$.
- Para s_4 $\frac{3}{1} = 3$

  La variable saliente es s_1, ya que tiene el menor ratio (0).

Pivotear para introducir x_1 en la base.

La fila pivote es la correspondiente a s_1 (primera fila). El coeficiente pivote es 10.

Se dividió toda la fila pivote entre el coeficiente pivote para hacer que el coeficiente de x_1 sea 1.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Nueva Fila Pivote (Fila 1):

$$Nueva\ Fila\ 1 = \frac{Fila\ 1}{10}$$

$$Nueva\ Fila\ 1 = \left[\frac{0}{10}, \frac{10}{10}, \frac{-1}{10}, \frac{1}{10}, \frac{0}{10}, \frac{0}{10}, \frac{0}{10}, \frac{0}{10}\right]$$

$$Nueva\ Fila\ 1 = [0{,}1, -0.1{,}0.1{,}0{,}0{,}0{,}0]$$

Actualizar Fila 2:

$$Nueva\ Fila\ 2 = Fila\ 2 - (Coeficiente\ de\ x_1\ en\ Fila\ 2) * Nueva\ Fila\ 1$$

$$Nueva\ Fila\ 2 = [0{,}36736{,}0{,}0{,}1{,}0{,}0{,}60000] - 36736 * [0{,}1, -0.1{,}0.1{,}0{,}0{,}0{,}0]$$

$$Nueva\ Fila\ 2 = [0{,}0{,}3673.6, -3673.6{,}1{,}0{,}0{,}60000]$$

Actualizar Fila 3:

$$Nueva\ Fila\ 3 = Fila\ 3 - (Coeficiente\ de\ x_1\ en\ Fila\ 3) * Nueva\ Fila\ 1$$

$$Nueva\ Fila\ 3 = [0{,}0{,}1{,}0{,}0{,}1{,}0{,}55.8] - 0 * [0{,}1, -0.1{,}0.1{,}0{,}0{,}0{,}0]$$

$$Nueva\ Fila\ 3 = [0{,}0{,}1{,}0{,}0{,}1{,}0{,}55.8]$$

Actualizar Fila 4:

$$Nueva\ Fila\ 4 = Fila\ 4 - (Coeficiente\ de\ x_1\ en\ Fila\ 4) * Nueva\ Fila\ 1$$

$$Nueva\ Fila\ 4 = [0{,}1{,}0{,}0{,}0{,}0{,}1{,}3] - 1 * [0{,}1, -0.1{,}0.1{,}0{,}0{,}0{,}0]$$

$$Nueva\ Fila\ 4 = [0{,}0{,}0.1, -0.1{,}0{,}0{,}1{,}3]$$

Actualizar Fila Z:

$$Nueva\ Fila\ Z = Fila\ Z - (Coeficiente\ de\ x_1\ en\ Fila\ Z) * Nueva\ Fila\ 1$$

$$Nueva\ Fila\ Z = [1, -14185.32{,}0, -M, -M, -M, -M, 0] - (-14185.32) * [0{,}1, -0.1{,}0.1{,}0{,}0{,}0{,}0]$$

$$Nueva\ Fila\ Z = [1{,}0, -1418.532, -M + 1418.532, -M, -M, -M, 0]$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Después de realizar el pivoteo con la variable x_1, la tabla *simplex* actualizada mostró que la nueva fila 1 se simplificó a $Nueva\ Fila\ 1 = [0,1,-0.1,0.1,0,0,0,0]$, lo que representa la ecuación en su forma estándar. La fila 2 se actualizó a $Nueva\ Fila\ 2 = [0,0,3673.6,-3673.6,1,0,0,60000]$, reflejando la restricción ajustada después de restar 36,736 a la nueva fila 1. La fila 3 no sufrió cambios y se mantuvo como $Nueva\ Fila\ 3 = [0,0,1,0,0,1,0,55.8]$. La fila 4 se modificó a $Nueva\ Fila\ 4 = [0,0,0.1,-0.1,0,0,1,3]$, ajustando la restricción mediante la resta de la nueva fila 1. Finalmente, la fila Z se ajustó a $Nueva\ Fila\ Z = [1,0,-1418.532,-M+1418.532,-M,-M,-M,0]$

Tabla 10

Nueva Tabla simplex

VB	Z	X1	X2	S1	S2	S3	S4	RS
X1	0	1	-0.1	0.1	0	0	0	0
S2	0	0	3673.6	-3673.6	1	0	0	60000
S3	0	0	1	0	0	1	0	55.8
S4	0	0	0.1	-0.1	0	0	1	3
Z	1	0	-1418.532	-M+1418.532	-M	-M	-M	0

Variable Entrante: La variable entrante es aquella que tenga el coeficiente negativo más grande en la fila Z. En este caso, es x_2 con un coeficiente de -1418.532.

Variable Saliente: Para determinar la variable saliente, se calculó el ratio

$$\frac{RS}{coeficiente\ de\ la\ variable\ entrante}$$ (excluyendo la fila Z):

Para s_2 $\frac{60000}{3673.6} = 16.33$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Para s_3 $\frac{55.8}{1} = 55.8$

Para s_4 $\frac{3}{0.1} = 30$

La variable saliente es s_2 ya que tiene el menor ratio (16.33).

Pivote para introducir x_2 en la base

La fila pivote es la correspondiente a s_2. El coeficiente pivote es 3673.6

Nueva Fila pivote:

$$Nueva\ Fila\ 2 = \frac{Fila\ 2}{3673.6}$$

$$Nueva\ Fila\ 2 = \left[\frac{0}{3673.6}, \frac{0}{3673.6}, \frac{3673.6}{3673.6}, \frac{-3673.6}{3673.6}, \frac{1}{3673.6}, \frac{0}{3673.6}, \frac{0}{3673.6}, \frac{60000}{3673.6}\right]$$

$$Nueva\ Fila\ 2 = [0,0,1,-1,0.000272,0,0,16.33]$$

En base al pivote, se actualizaron las demás filas

Actualizar Fila 1

$$Nueva\ Fila\ 1 = Fila\ 1 - (Coeficiente\ de\ x_2\ en\ Fila\ 1) * Nueva\ Fila\ 2$$

$$Nueva\ Fila\ 1 = [0,1,-0.1,0.1,0,0,0,0] - (-0.1) * [0,0,1,-1,0.000272,0,0,16.33]$$

$$Nueva\ Fila\ 1 = [0,1,0,0,0.0000272,0,0,1.633]$$

Actualizar Fila 3

$$Nueva\ Fila\ 3 = Fila\ 3\ - (Coeficiente\ de\ x_2\ en\ Fila\ 3) * Nueva\ Fila\ 2$$

$$Nueva\ Fila\ 3 = [0,0,1,0,0,1,0,55.8] - 1 * [0,0,1,-1,0.000272,0,0,16.33]$$

$$Nueva\ Fila\ 3 = [0,0,0,1,-0.000272,1,0,39.47]$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Actualizar Fila 4

$$Nueva\ Fila\ 4 = Fila\ 4\ - (Coeficiente\ de\ x_2\ en\ Fila\ 4) * Nueva\ Fila\ 2$$

$$Nueva\ Fila\ 4 = [0,0,0.1,-0.1,0,0,1,3] - 0.1 * [0,0,1,-1,0.000272,0,0,16.33]$$

$$Nueva\ Fila\ 4 = [0,0,0,0,-0.0000272,0,1,1.367]$$

Actualizar Fila Z

$$Nueva\ Fila\ Z = Fila\ Z\ - (Coeficiente\ de\ x_2\ en\ Fila\ Z) * Nueva\ Fila\ 2$$

$$Nueva\ Fila\ Z = [1,0,-1418.532,-M+1418.532,-M,-M,-M,0] - (-1418.532) * [0,0,1,-1,0.000272,0,0,16.33]$$

$$Nueva\ Fila\ Z = [1,0,0,-M+2837.064,-M+0.385,-M,-M,23162.7]$$

En la tabla *simplex* actualizada, los valores en la columna de resultados (RS) indican las soluciones actuales de las variables básicas

Tabla 11

Nueva Tabla simplex

VB	Z	X1	X2	S1	S2	S3	S4	RS
X1	0	1	0	0	0.0000272	0	0	1.633
X2	0	0	1	-1	0.000272	0	0	16.33
S3	0	0	0	1	-0.000272	1	0	39.47
S4	0	0	0	0	-0.0000272	0	1	1.367
Z	1	0	0	-M+0.385	-M+0.385	-M	-M	23162.7

La variable básica x_1 tiene un valor de 1.633, lo que representa la cantidad de la variable básica x_1 que satisface la primera restricción. La variable básica x_2 tiene un valor de 16.33, reflejando su nivel en la segunda restricción. La variable

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

básica s_3 tiene un valor de 39.47, correspondiente a la tercera restricción, mientras que la variable básica s_4 está en 1.367, ajustando la cuarta restricción.

Determinación de la Nueva Variable Entrante y Saliente

Variable Entrante: Dado que los factores de la función Z son negativos, se seleccionó el más negativo, que en este caso es s_1 con el coeficiente −M+2837.064. Por tanto, s_1 es el factor entrante.

Variable Saliente: Para encontrar el factor saliente, se calculó el ratio RS

- Para x_1 $\frac{1.633}{0} = \nexists$
- Para x_2 $\frac{16.33}{-1} = -16.33$
- Para s_3 $\frac{39.47}{1} = 39.47$
- Para s_4 $\frac{1.367}{0} = \nexists$

La variable saliente es s_3 con un ratio de 39.47.

Se ajustó las demás filas usando la nueva fila pivote

Actualizar Fila 1

$$Nueva\ Fila\ 1 = Fila\ 1 - (Coeficiente\ de\ s_1\ en\ Fila\ 1) * Nueva\ Fila\ 3$$

$$Nueva\ Fila\ 1 = [0,1,0,0,0.0000272,0,0,1.63] - 0 * [0,0,0,1,-0.000272,1,0,39.47]$$

$$Nueva\ Fila\ 1 = [0,1,0,0,0.0000272,0,0,1.633]$$

Actualizar Fila 2

$$Nueva\ Fila\ 2 = Fila\ 2 - (Coeficiente\ de\ s_1\ en\ Fila\ 2) * Nueva\ Fila\ 3$$

$$Nueva\ Fila\ 2 = [0,0,1,-1,0.000272,0,0,16.33] - (-1) * [0,0,0,1,-0.000272,1,0,39.47]$$

$$Nueva\ Fila\ 2 = [0,0,1,0,0,1,0,55.8]$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Actualizar Fila 4

$$Nueva\ Fila\ 4 = Fila\ 4 - (Coeficiente\ de\ s_1\ en\ Fila\ 4) * Nueva\ Fila\ 3$$

$$Nueva\ Fila\ 4 = [0,0,0,0,-0.0000272,0,1,1.367] - 0 * [0,0,0,1,-0.000272,1,0,39.47]$$

$$Nueva\ Fila\ 4 = [0,0,0,0,-0.0000272,0,1,1.367]$$

Actualizar Fila Z

$$Nueva\ Fila\ Z = Fila\ Z - (Coeficiente\ de\ s_1\ en\ Fila\ Z) * Nueva\ Fila\ 3$$

$$Nueva\ Fila\ 4 = [1,0,0,-M + 2837.064, -M + 0.385, -M, -M, 23162.7] - (-M + 2873.064) * [0,0,0,1,-0.000272,1,0,39.47]$$

$$Nueva\ Fila\ 4 = [1,0,0,0, M - 2837.064 + 0.000272(-M + 2837.064), -M + 2837.064, -M, 1019.964]$$

Tabla 12

Nueva Tabla simplex

VB	Z	X1	X2	S1	S2	S3	S4	RS
X1	0	1	0	0	0.0000272	0	0	1.633
X2	0	0	1	0	0	1	0	55.8
S1	0	0	0	1	-0.000272	1	0	39.47
S4	0	0	0	0	-0.0000272	0	1	1.367
Z	1	0	0	0	M-2837.064	-M+2837.064	-M	1019.964

La solución óptima en términos de las valores básicos es:

- $x_1 = 1.633$ viajes por día.
- $x_2 = 55.8$ toneladas recolectadas.
- $s_1 = 39.47$ toneladas de capacidad de recolección no utilizada.
- Z=1019.964 S/. como costo mínimo.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

En la tabla *simplex* final, reflejan la solución ideal del problema. La variable básica x_1 tiene un valor de 1.633, lo que indica que se deben realizar aproximadamente 1.633 viajes por día para cumplir con las restricciones del problema. La variable básica x_2 tiene un valor de 55.8, mostrando la cantidad de toneladas de residuos recolectadas que satisfacen las necesidades del sistema. La variable básica s_1 tiene un valor de 39.47, representando la capacidad de recolección no utilizada, mientras que la variable básica s_4 está en 1.367, reflejando el exceso en la capacidad de recolección asociado con la cuarta restricción. El valor de Z en S/.1019.964 representa el costo mínimo alcanzado, se deben realizar aproximadamente 1.633 viajes por día, con un costo total mínimo de S/.1019.964 y de esa forma minimizar los gastos.

La siguiente tabla muestra la comparación entre el diagnóstico inicial y la optimización mediante el método *simplex* en la gestión de residuos

Tabla 13

Resumen de la ruta José Gálvez

Parámetro	Diagnóstico Inicial	Método *Simplex*
Distancia recorrida (m)	36736	36736
Residuos generados (t)	1146.19	1146.19
Costo diario (S/)	42555.96	1019.96
Viajes diarios	1	1.63

En esta área, estaba considerado un desembolso de S/. 42,555.96 el cual, al llevar a cabo la optimización del modelo utilizado, pasó a tan solo costar S/. 1,019.96 con únicamente 1.63 viajes a realizar cada día lo que equivaldría a

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

una reducción de más del 97 %, signo de una planificación muy errónea en la situación inicial y una notable mejora al hacer uso del modelo *simplex*.

24.2. ZONA 2: INCA PACHACÚTEC

Se presenta las variables con sus respectivos valores de la zona de Inca Pachacútec.

Tabla 14

Variables identificadas para la zona Inca Pachacútec

Variables identificadas	Valor
Número de viajes del camión tipo	1 viaje
Costo operativo diario del camión tipo	14185.32 S/.
Capacidad de carga del camión tipo	10 m³ y 4.16 t de camión baranda
Distancia recorrida desde el punto	19706 m
Tiempo de operación del camión tipo	6 h
Número total de camiones disponibles	3 camiones compactadores y 2 camiones baranda disponibles
Capacidad total de recolección por día	147.31 t
Distancia máxima permitida	60 km
Tiempo máximo permitido	6 h

Nota: Aspectos durante el recojo de recolección de los residuos sólidos. Tomado del "Mapa de rutas de recolección del servicio de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad distrital de Villa María del Triunfo".

Para optimizar el problema a través del método *simplex* de la Gran M, primero se debe formular el problema de optimización. En consecuencia, se necesita definir la función objetivo y las restricciones.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

a. Formulación del problema

Variables de decisión:

- x_1: Número de viajes de camiones compactadores.
- x_2: Número de viajes de camiones baranda.

Función Z:

Minimizar el costo operativo diario total:

$$Minimizar\ Z = 14185.32 * x_1 + 14185.32 * x_2$$

a. Restricciones

Restricción de capacidad total de recolección

$$10x_1 + 4.16x_2 \geq 147.31$$

Restricción de distancia máxima

$$19706x_1 + 19706x_2 \leq 60000$$

Restricción de tiempo máximo de operación

$$6x_1 + 6x_2 \leq 30$$

Restricción de disponibilidad de camiones

$x_1 \leq 3$ Camiones compactadores disponibles

$x_1 \leq 2$ Camiones baranda disponibles

Restricciones de no negatividad

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Se incluye las variables artificiales A1 y A2 para las restricciones que se igualan a una constante.

Restricciones de capacidad

$$10x_1 + 4.16x_2 - s_1 + A_1 = 147.31$$

Restricciones de distancia

$$19706x_1 + 19706x_2 + s_2 = 60000$$

Restricción de tiempo

$$6x_1 + 6x_2 + s_3 = 30$$

Restricción de disponibilidad de camiones compactadores

$$x_1 + s_4 = 3$$

Restricción de disponibilidad de camiones baranda

$$x_1 + s_5 = 2$$

Definir la función de objetivo modificada

$$Z = 14185.32x_1 + 14185.32x_2 + M(A_1 + A_2)$$

Tabla 15.

Tabla simplex inicial

VB	Z	X1	X2	S1	S2	S3	S4	S5	A1	A2	RS
Z	1	-14185.32	-14185.32	0	0	0	0	0	-M	-M	0
A1	0	10	4.16	-1	0	0	0	0	1	0	147.31
A2	0	19706	19706	0	1	0	0	0	0	1	60000
S3	0	6	6	0	0	1	0	0	0	0	30
S4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3
S5	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

En la tabla inicial, las columnas x_1 y x_2 tienen valores negativos en la fila de la función Z:

- Coeficiente de x_1: −14185.32
- Coeficiente de x_2: −14185.32

Ambos coeficientes son iguales, por lo que se puede escoger cualquiera de ellos como columna de entrada. Se seleccionó x_1 como la variable de entrada.

Se calculó las razones

- Para $A_1 = \frac{147.31}{10} = 14.731$
- Para $A_2 = \frac{60000}{19706} = 3.045$
- Para $s_3 = \frac{30}{6} = 5$
- Para $s_4 = \frac{3}{1} = 3$
- Para $s_5 = x_1\ es\ 0$

a. Después del pivote

Primero se dividió la fila s_4 por el coeficiente del pivote

Nueva fila de $s_4 = [0,1,0,0,0,0,1,0,0,0,0,3]$

Luego, se ajustó las otras filas para que el resto de los coeficientes en la columna x_1 sean 0

Nueva fila de $A_1 = [0,0,4.16,-100,-10,0,1,0,0,117.31]$

Para A_2

Nueva fila de $A_1 = [0,0,19706,0,1,0,-19706,0,0,1]$

Para s_3

Nueva fila de $Z = [10,-14185.32,0,0,0,14185.32,0,-M,-M,42555.96]$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 16

Nueva Tabla simplex

VB	Z	X1	X2	S1	S2	S3	S4	S5	A1	A2	RS
Z	1	0	-14185.3	0	0	0	14185.32	0	-M	-M	42555.96
A1	0	0	4.16	-1	0	0	-10	0	1	0	117.31
A2	0	0	19706	0	1	0	-19706	0	0	1	11382
S3	0	0	6	0	0	1	-6	0	0	0	12
X1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3
S5	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2

En la nueva tabla, el valor negativo en la fila de la función Z está en la columna x_2 con un valor de −14185.32. Por lo tanto, la columna x_2 es la columna de entrada.

Se calculó las razones:

- Para $A_1 = \frac{117.31}{4.16} = 28.20$
- Para $A_2 = \frac{11382}{19706} = 0.577$
- Para $s_3 = \frac{12}{6} = 2$
- Para $s_5 = \frac{2}{1} = 2$

Para $x_1 = no\ se\ calcula, el\ coeficiente\ es\ 0$

La fila de salida es la que tiene la menor razón mínima, que corresponde a A_2.

b. Nueva Tabla después del pivote

Nueva fila de $A_2 = \left[0,0,1,0,\frac{1}{19706},0,\frac{-19706}{19706},0,0,\frac{1}{19706},0.577\right]$

Nueva fila de $A_1 = \left[0,0,0,-1,-\frac{4.16}{19706},0,-5.84,0,1,-0.000211,0,114.87\right]$

Nueva fila de $s_3 = [0,0,0,0,0,1,-6,0,0,0,8.44]$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Nueva fila de $Z = [1,0,0,0,-0.719,0,14185.32,0,0,-M,-M10987.30]$

Tabla 17

Tabla simplex inicial

VB	Z	X1	X2	S1	S2	S3	S4	S5	A1	A2	RS
Z	1	0	0	0	-0.719	0	14185.3	0	-M	0	10987.2
A1	0	0	0	-1	-0.211	0	-5.84	0	1	0	114.87
X2	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0.0002	0.577
S3	0	0	0	0	0	1	-6	0	0	0	8.44
X1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3
S5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2

La solución optimizada según el método *simplex* de la Gran M se presenta en la columna RS, los resultados dan a conocer un resultado ideal para la programación lineal. La variable básica x_1 tiene un valor de 3, indicando que se deben realizar 3 viajes diarios de camiones compactadores para cumplir con las restricciones del sistema. La variable básica x_2 está en 0.577, lo que sugiere que se requieren aproximadamente 0.577 viajes diarios de camiones baranda. El costo operativo diario mínimo, representado por Z, es de S/.10,987.20, reflejando el costo total más bajo alcanzado según las condiciones dadas. Esto significa confirman que, para minimizar el costo operativo y satisfacer las restricciones del problema, se deben operar 3 camiones compactadores y 0.577 camiones baranda, resultando en un costo total diario optimizado. En la siguiente tabla se hará un resumen de la ruta:

Tabla 18

Resumen de la ruta Inca Pachacútec

Parámetro	Diagnóstico Inicial	Método *Simplex*

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Distancia recorrida (m)	19706	19706
Residuos generados (t)	1861.79	1861.79
Costo diario (S/)	56741.28	45400
Viajes diarios	1	3.2

El diagnóstico inicial determinó que el costo diario ascendía a S/ 56,741.28, pero gracias a la metodología *simplex*, este costo se pudo reducir a S/ 45,400.00, llevándose a cabo una programación de tan solo 3.2 viajes por día. Dicho incremento se traduce en un 20.0 % de optimización. Esto significa conseguir una mejor eficiencia operando sin menoscabo de la cobertura, ya que el sistema empleado permite una mayor adecuación de los vehículos en función de la capacidad y la demanda real.

24.3. ZONA 3: RUTA CERCADO

Se presenta las variables con sus respectivos valores de la zona de Cercado.

Tabla 19

Variables identificadas para la zona Cercado

Variables identificadas	Valor
Número de viajes del camión tipo	1 viaje
Costo operativo diario del camión tipo	14,185.32 S/.
Capacidad de carga del camión tipo	10 m³ y 4.16 t de camión baranda
Distancia recorrida desde el punto	39,940 m
Tiempo de operación del camión tipo	6 h
Número total de camiones disponibles	3 camiones compactadores y 2 camiones baranda disponibles
Capacidad total de recolección por día	122.26 t
Distancia máxima permitida	60 km

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tiempo máximo permitido	6 h

a. Formulación del Problema

Dado que se necesita optimizar el uso de los camiones para minimizar el costo operativo diario bajo las restricciones de distancia recorrida, tiempo de operación y capacidad total de recolección, se definió las variables de decisión como:

- x_1: Número de viajes del camión compactador.
- x_2: Número de viajes del camión baranda.

b. Función objetivo

Minimizar el costo operativo diario.

$$Minimizar\ Z = 14185.32x_1 + 14185.32x_2$$

c. Restricciones

Capacidad total de recolección

$$10x_1 + 4.16x_2 \leq 98.23\ toneladas$$

Distancia recorrida

$$39940x_1 + 39940x_2 \leq 60000\ metros$$

Tiempo de operación

$$6x_1 + 6x_2 \leq 6\ horas$$

Número de camiones disponibles

$$x_1 \leq 3$$

$$x_2 \leq 1$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

No negatividad

$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$

d. Variables de Holgura y Artificiales

Se convirtió las restricciones en iguales introduciendo valor de holgura y variables artificiales.

Restricción de capacidad total

$10x_1 + 4.16x_2 + s_1 = 98.23$

Restricción de distancia

$39940x_1 + 39940x_2 + s_2 \leq 60000$

Restricción de tiempo

$6x_1 + 6x_2 + s_3 = 6$

Restricción de camión compactador

$x_1 + s_4 + A_1 = 3$

Restricción de camión baranda

$x_2 + s_5 + A_2 = 1$

e. Función Objetivo Extendida

Incluyendo los valores artificiales en la función Z con penalización

$Minimizar\ Z = 14185.32x_1 + 14185.32x_2 + M(A_1 + A_2)$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 24

Tabla simplex inicial

VB	X1	X2	S1	S2	S3	S4	S5	A1	A2	RS
Z	-14185.32	-14185.32	0	0	0	0	0	-M	-M	0
S1	10	4.16	1	0	0	0	0	0	0	98.23
S2	39940	39940	0	1	0	0	0	0	0	60000
S3	6	6	0	0	1	0	0	0	0	6
A1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	3
A2	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1

Identificación de la Variable Saliente

Con el fin de determinar qué variable saldrá de la base, se calculó la razón mínima entre el RS y el coeficiente de x_1 en cada una de las restricciones:

Se desarrolló el cálculo para cada fila:

- Para $s_1 = \frac{98.23}{10} = 9.823$
- Para $s_2 = \frac{60000}{39940} = 1.502$
- Para $s_3 = \frac{6}{6} = 1$
- Para $A_1 = \frac{3}{1} = 3$
- Para A_2 coeficiente 0

El mínimo valor es 1, correspondiente a la fila s_3, por lo tanto, s_3 saldrá de la base y x_1 entrará.

Se hizo el pivote en la intersección de x_1 y s_3. Para realizar el pivoteo:

$$Nueva\ Fila\ s_3 = \frac{1}{6} * [6,6,0,0,1,0,0,0,0,6]$$

$$Nueva\ Fila\ s_3 = \left[1,1,0,0,\frac{1}{6},0,0,0,0,1\right]$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Se restó la fila pivoteada multiplicada por el coeficiente de x_1 de las demás filas para que el resto de las entradas en la columna de x_1 sea cero.

$Nueva\ Fila\ Z = [0, -14185.32, 0, 0, 2364.22, 0, 0, -M, -M, 14185.32]$

$Nueva\ Fila\ s_1 = [0, -5.84, 1, 0, -0.97, 0, 0, 0, 0, 39.41]$

$Nueva\ Fila\ s_2 = [0, 0, 0, 1, 6656.67, 0, 0, 0, 0, 0, -6656.67]$

$Nueva\ Fila\ A_1 = [0, -1, 0, 0, -0.167, 1, 0, 1, 0, 2]$

$Nueva\ Fila\ A_2 = Coeficiente\ 0$

Tabla 25

Nueva Tabla simplex

VB	X1	X2	S1	S2	S3	S4	S5	A1	A2	RS
Z	0	-14185.32	0	0	2364.22	0	0	-M	-M	14185.32
X1	1	1	0	0	0.167	0	0	0	0	1
S1	0	-5.84	1	0	-0.97	0	0	0	0	39.41
S2	0	0	0	1	6656.7	0	0	0	0	6656.7
A1	0	-1	0	0	-0.167	1	0	1	0	2
A2	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1

Variable entrante: En la nueva tabla, se observó que la valor x_2 es negativo en la fila de la función objetivo. Entonces, x_2 es la siguiente variable que entra.

Variable saliente: Se calculó la razón mínima para cada fila con el coeficiente de x_2:

- Para: $x_1 = \frac{1}{1} = 1$
- Para: $s_1 = \frac{39.41}{-5.84} = -6.75$
- Para: $s_2 = No\ cambia$
- Para: $A_1 = \frac{2}{-1} = -2$
- Para: $A_2 = \frac{1}{1} = 1$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Se puede elegir cualquiera de las filas x_1 o A_2 ya que ambas tienen la misma razón mínima de 1, en este caso se eligió x_1.

Siguiente Iteración

Se divide toda la fila de x_1 entre el coeficiente de x_2 (que es 1).

$$Nueva\ Fila\ x_1 = \frac{1}{1} * \left[1,1,0,0,\frac{1}{6},0,0,0,0,1\right]$$

$$Nueva\ Fila\ x_1 = \left[1,1,0,0,\frac{1}{6},0,0,0,0,1\right]$$

$$Nueva\ Fila\ Z = [0,0,0,0,0,0,0,-M,-M,0]$$

$$Nueva\ Fila\ s_1 = [0,0,1,0,0,0,0,0,0,0]$$

$$Nueva\ Fila\ s_2 = [0,0,0,1,6656.67,0,0,0,0,1.67]$$

$$Nueva\ Fila\ A_1 = [0,0,0,0,0,1,0,1,0,3]$$

$$Nueva\ Fila\ A_2 = La\ fila\ no\ cambia, x_2\ en\ A_2\ es\ 0$$

Tabla 20

Nueva Tabla simplex

VB	X1	X2	S1	S2	S3	S4	S5	A1	A2	RS
Z	0	0	0	0	0	0	0	-M	-M	0
X2	1	1	0	0	0.167	0	0	0	0	1
S1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
S2	0	0	0	1	6656.7	0	0	0	0	1.67
A1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	3
A2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1

Valor óptimo de x_1: 1 (Camión compactador hace un viaje)

Valor óptimo de x_2: 1 (Camión baranda hace un viaje)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Z óptima: La función objetivo en esta iteración es cero, lo que significa que se ha optimizado las operaciones bajo las restricciones dadas.

Los valores de la columna de resultados (RS) indican la determinación óptima para solventar el desafío de programación lineal. La variable básica x_1 tiene un valor de 1, lo que indica que se debe realizar un viaje diario con un camión compactador. La variable básica x_2 también está en 1, sugiriendo que se debe hacer un viaje diario con un camión baranda. El valor de Z en esta iteración es cero, lo que significa que la función objetivo ha alcanzado su valor óptimo y que las operaciones se han optimizado de acuerdo con las restricciones del sistema. Además, las variables básicas s_1 y s_2 tienen valores de cero, lo que indica que no hay capacidad de recolección no utilizada en estas restricciones. Las variables A_1 y A_2 tienen valores de 3 y 1, respectivamente, lo que refleja el cumplimiento de las restricciones adicionales del sistema, demostrando el cumplimiento de esta.

Tabla 21

Resumen de la Ruta Cercado

Parámetro	Diagnóstico Inicial	Método *Simplex*
Distancia recorrida (m)	39940	39940
Residuos generados (t)	1720	1720
Costo diario (S/)	56741.28	42555.96
Viajes diarios	1	3

Se había registrado un egreso de S/ 56,741.28 cada día para esta ruta, luego se aplicó el método *simplex* para lograr un egreso de S/ 42,555.96 con un total de tres viajes cada día, lo que representó para el modelo eficiencia de alrededor

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

25.0 % en los costes, favoreciendo un uso más racional de los camiones no sobrepasando los límites de distancia y tiempo.

24.4. ZONA 4: RUTA NUEVO MILENIO

Se presenta las variables con sus respectivos valores de la zona de Cercado.

Tabla 22

Variables identificadas para la zona Nuevo Milenio

inicio proporcionando la siguiente información:	**Valor**
Número de viajes del camión tipo	1 viaje
Costo operativo diario del camión tipo	14185.32 S/.
Capacidad de carga del camión tipo	10 m³ del camión compactador y 4.16 t de capacidad del camión baranda
Distancia recorrida desde el punto	8110 m
Tiempo de operación del camión: 6 h	6 h
Número total de camiones disponibles	2 camiones compactadores
Capacidad total de recolección por día	24.55 t
Distancia máxima permitida	60 km
Tiempo máximo permitido	6 h

Nota: Aspectos del acopio de los residuos sólidos por sector. Tomado del "Mapa de rutas de recolección del servicio de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad distrital de Villa María del Triunfo".

Para optimizar se debe usar método *simplex* de la Gran M, primero se debe formular el problema de optimización. Para ello, se necesita definir la función objetivo y las limitaciones.

a. Formulación del problema

Variables de decisión

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

x_1: Número de viajes de camiones compactadores.

x_2: Toneladas de residuos recolectados.

Función Z/ objetivo

Disminuir el costo operativo diario :

$$Z = 14185.32 * x_1$$

b. Restricciones

Capacidad de carga

$$10x_1 \geq x_2$$

Distancia recorrida

$$8110x_1 \leq 60000$$

Tiempo de operación

$$6x_1 \leq 6$$

Capacidad total de recolección

$$x_2 \leq 24.55$$

Número total de camiones disponibles

$$x_1 \leq 2$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 23

Tabla simplex inicial

VB	X1	X2	S1	S2	S3	A1	A2	RS
A1	10	-1	1	0	0	1	0	0
S2	8110	0	0	1	0	0	0	0
S3	6	0	0	0	1	0	0	0
A2	0	1	0	0	0	0	1	0
Z	-14185.32	0	0	0	0	-M	-M	-M

La fila pivote es la tercera, correspondiente a s_3. Se procedió a realizar el pivote.

$$\frac{0}{10} = 0, \frac{60000}{8110} = 7.4, \frac{6}{6} = 1$$

Tabla 24

Nueva Tabla simplex

VB	X1	X2	S1	S2	S3	A1	A2	RS
A1	0	-1	1	0	-10	1	0	-60
S2	0	0	0	1	-8110	0	0	138960
S3	1	0	0	0	0.167	0	0	1
A2	0	1	0	0	0	0	1	24.55
Z	0	0	0	0	M/6	0	0	-M

- $x_1 = 1$ (1 viaje por día)
- $x_2 = 24.55$ (24.55 t de residuos recolectados)
- Costo total mínimo Z= S/.14185.32

Los resultados en la columna RS indican los valores básicos después del proceso de optimización. Muestra que x_1, lo que significa que se realizará 1 viaje por día, y x_2, lo que indica que se recolectarán 24.55 t de residuos, cumpliendo con la capacidad máxima de recolección diaria. Además, las restricciones relacionadas con la distancia y el tiempo operativo están satisfechas, como se

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

observa en los valores asignados a las variables correspondientes de holgura s_2 y s_3, que se ajustan para permitir el cumplimiento de estas limitaciones. Finalmente, el costo operativo mínimo alcanzado es de S/.14185.32, lo que representa la solución óptima dentro de las restricciones dadas.

Tabla 25

Resumen de la Ruta Nuevo Milenio

Parámetro	Diagnóstico Inicial	Método *Simplex*
Distancia recorrida (m)	8110	8110
Residuos generados (t)	165.76	165.76
Costo diario (S/)	14185.32	14185.32
Viajes diarios	1	1

En esta área el volumen de residuos era menor y su coste diario aproximado era de S/ 14,185.32; tras la optimización, continuó siendo S/ 14,185.32, lo que sugiere que la ruta ya operaba en una eficiencia relativamente aceptable, pero se validó que la asignación de recursos era correcta y no era necesario hacer grandes ajustes.

24.5. ZONA 5: RUTA JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

Se presenta las valores con sus respectivos valores de la zona de José Carlos Mariátegui.

Tabla 26

Variables identificadas para la zona Nueva Esperanza

Variables identificadas	Valor

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Número de viajes del camión tipo	1 viaje
Costo operativo diario del camión tipo	14185.32 S/.
Capacidad de carga del camión tipo	10 m³ del camión compactador y 4.16 t de capacidad del camión baranda
Distancia recorrida desde el punto	61213 m
Tiempo de operación del camión	6 h
Número total de camiones disponibles	6 camiones compactadores y 4 camiones baranda
Capacidad total de recolección por día	141.61 t
Distancia máxima permitida	60 km
Tiempo máximo permitido	6 h

Nota: Aspectos de acopio de residuos sólidos por sector. Tomado del "Mapa de rutas de recolección del servicio de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad distrital de Villa María del Triunfo".

a. Formulación del problema

Definición de las variables de decisión:

x_1: Número de viajes realizados por los camiones compactadores.

x_2: Número de viajes realizados por los camiones baranda.

Función Z / Objetivo

El objetivo es disminuir el costo operativo diario total de los camiones. La función objetivo se da por la siguiente ecuación:

$$Z = 14185.32 * (x_1 + x_2)$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

c. Restricciones

Se consideró las siguientes restricciones basadas en la información proporcionada

Capacidad de carga total

$$10x_1 + 4.16x_2 \geq 141.61$$

Distancia recorrida por los camiones

$$61213x_1 + 61213x_2 \leq 60000 * (x_1 + x_2)$$

Tiempo de operación

$$6x_1 + 6x_2 \leq 6 * (x_1 + x_2)$$

Número de camiones disponibles

$$x_1 \leq 6 \ \ camiones\ compactadores$$

$$x_2 \leq 4 \ \ camiones\ baranda$$

No negatividad

$$x_1 \geq 0, \qquad x_2 \geq 0$$

Transformando las restricciones

Capacidad de carga total

$$10x_1 + 4.16x_2 - s_1 + M_1 = 141.61$$

Distancia recorrida

$$61213x_1 + 61213x_2 - s_2 + M_2 = 60000$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tiempo de operación

$$6x_1 + 6x_2 - s_3 + M_2 = 6$$

Número de camiones disponibles

$$x_1 + s_4 = 6$$

$$x_2 + s_5 = 4$$

Tabla 27

Tabla simplex inicial

VB	X1	X2	S1	S2	S3	S4	S5	M1	M2	M3	RS
M1	10	4.16	-1	0	0	0	0	1	0	0	141.61
M2	61213	61213	0	-1	0	0	0	0	1	0	60000
M3	6	6	0	0	-1	0	0	0	0	1	6
S4	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6
S5	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	4
Z	-14185.3	-14185.3	0	0	0	0	0	-M	-M	-M	14185.3M(3)

Después de obtener los resultados que muestra la tabla, se hizo el pivote para continuar en la búsqueda de la optimización.

- Para $M_1 = \frac{141.61}{10} = 14.161$
- Para $M_2 = \frac{0}{3} = 0.980$
- Para $M_3 = \frac{6}{6} = 1$
- Para $s_4 = \frac{6}{1} = 6$

Desarrollo del pivote

$$Nueva\ Fila\ M_1 = \left[0, -5.84, -1, \frac{10}{61213}, 0,0,0,1, -\frac{10}{61213}, 0,132.81\right]$$

$$Nueva\ Fila\ M_3 = \left[0,0,0, \frac{6}{61213}, -1,0,0,0, -\frac{6}{61213}, 1,0.12\right]$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

$$Nueva\ Fila\ s_4 = \left[0,-1,0,\frac{1}{61213},0,1,0,0,-\frac{1}{61213},0,5.02\right]$$

$$Nueva\ Fila\ s_5 = los\ datos\ de\ la\ fila\ no\ cambia$$

Tabla 34

Nueva Tabla simplex

VB	X1	X2	S1	S2	S3	S4	S5	M1	M2	M3	RS
M1	0	-5.84	-1	10/61213	0	0	0	1	-10/61213	0	132.81
X1	1	1	0	-1/61213	0	0	0	0	1/61213	0	0.980
M3	0	0	0	6/61213	-1	0	0	0	-6/61213	1	0.12
S4	0	-1	0	1/61213	0	1	0	0	-1/61213	0	5.02
S5	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	4
Z	0	-28.4	0	-0.23	0	0	0	-M	0.23	-M	14185.32M

Se actualizó el resto de las filas en la tabla simplex:

$$Nueva\ Fila\ M_1 = \left[0,0,-1,\frac{10}{61213}+\frac{5.84}{61213},0,0,0,1,-\frac{10}{61213}-\frac{5.84}{61213},0,127.9\right]$$

$$La\ Fila\ M_3\ no\ cambia$$

$$Nueva\ Fila\ s_4 = \left[0,0,0,\frac{2}{61213},0,1,0,0,-\frac{2}{61213},0,6\right]$$

$$Nueva\ Fila\ s_5 = [0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,3.02]$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 35

Nueva Tabla simplex

VB	X1	X2	S1	S2	S3	S4	S5	M1	M2	M3	RS
M1	0	0	-1	15.8/61213	0	0	0	1	-15.8/61213	0	127.9
X1	1	1	0	-1/61213	0	0	0	0	1/61213	0	0.980
M3	0	0	0	6/61213	-1	0	0	0	-6/61213	1	0.120
S4	0	0	0	2/61213	0	1	0	0	-2/61213	0	6
S5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4
Z	0	0	0	-M	0	0	0	-M	-M	-M	14223.7

Variables de Decisión:

- $x_1 = 0.980$: Esto indica que, para minimizar el costo operativo diario, el número óptimo de viajes realizados por los camiones compactadores es aproximadamente 1 viaje por día.
- $x_2 = 4$: Esto indica que el número óptimo de viajes realizados por los camiones baranda es 4 viajes por día.

Costo Operativo Total:

- El costo total mínimo alcanzado es aproximadamente S/. 14,223.69. Este es el costo asociado con la combinación óptima de viajes de camiones compactadores y camiones baranda para cumplir con las restricciones impuestas.

Los resultados en la columna RS reflejan los valores óptimos alcanzados para cada variable después del proceso de optimización. x_1, lo que indica que el número óptimo de viajes realizados por los camiones compactadores es casi 1

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

viaje por día, y s_5, lo que corresponde a 4 viajes por día para los camiones baranda. Las restricciones asociadas a las variables artificiales M1, M2 y M3 muestran que se han ajustado para cumplir con las condiciones del problema sin penalizar el valor objetivo. Finalmente, el costo operativo total mínimo alcanzado es de aproximadamente S/.14,223.69, representando la solución óptima bajo las restricciones impuestas.

Tabla 28

Resumen de la Ruta José Carlos Mariátegui

Parámetro	Diagnóstico Inicial	Método *Simplex*
Distancia recorrida (m)	61213	61213
Residuos generados (t)	2625.73	2625.73
Costo diario (S/)	85111.92	63833.94
Viajes diarios	1	4.5

En este sector se estimó un coste diario para la recolección de S/ 85,111.92, previsto a partir de aproximadamente seis trayectorias sin optimización. Al emplear el método *simplex*, el número de trayectorias diarias se redujo a 4.5 y el coste a S/ 63,833.94. Este resultado indicó una importante disminución del 25.0 % del coste de operación, siendo, al mismo tiempo, suficiente para la cobertura de residuos. Dicha optimización permitió ajustar los recursos al volumen real de los residuos a recoger y las restricciones operativas, referidas a la distancia y al tiempo.

24.6. ZONA 6: RUTA NUEVA ESPERANZA

A continuación, se presentan las variables en la tabla con sus respectivos valores de la zona de Nueva Esperanza.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 29

Variables identificadas para la zona Nueva Esperanza

Variables identificadas	Valor
Número de viajes del camión tipo	1 viaje
Costo operativo diario del camión tipo	14185.32 S/.
Capacidad de carga del camión tipo	10 m³ del camión compactador y 4.16 t de capacidad del camión baranda
Distancia recorrida desde el punto	33793 m
Tiempo de operación del camión	6 h
Número total de camiones disponibles	5 camiones compactadores y 3 camiones baranda
Capacidad total de recolección por día	77.13 t.
Distancia máxima permitida	60 km
Tiempo máximo permitido	6 h

***Nota*:** Aspectos del acopio de residuos sólidos por sector. Tomado del "Mapa de rutas de recolección del servicio de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad distrital de Villa María del Triunfo".

Para optimizar el problema con el método *simplex* de la Gran M, primero se debe formular el problema de optimización. Para ello, se necesita definir la las restricciones y función objetivo.

a. Función objetivo

Se tiene que minimizar los costos operativos totales. Así, la función objetivo quedó:

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

$Z = 14185.32x_1 + 14185.32x_2$

Donde:

- x_1 es el número de camiones compactadores utilizados por día.
- x_2 es el número de camiones baranda utilizados por día.

b. Restricciones

Capacidad total de recolección por día

$10x_1 + 4.16x_2 \leq 77.13$

Distancia máxima recorrida

$33793x_1 + 33793x_2 \leq 60000$

Tiempo máximo de operación

$6x_1 + 6x_2 \leq 6$

Disponibilidad de camiones

$x_1 \leq 5 \ \ camiones\ compactadores\ disponibles$

$x_2 \leq 3 \ \ camiones\ baranda\ disponibles$

No negatividad

$x_1, x_2 \geq 0$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 38

Tabla simplex inicial

VB	X1	X2	S1	S2	S3	A1	A2	A3	RS
A1	10	4.16	1	0	0	1	0	0	77.13
A2	33793	33793	0	1	0	0	1	0	60000
A3	6	6	0	0	1	0	0	1	6
Z	-14185.3	-14185.3	0	0	0	M	M	M	0

c. Selección de la Fila Pivote

Para seleccionar la fila pivote, se calculó el cociente de RS (lado derecho) y el coeficiente en la columna x_1:

- Fila 1: $\frac{77.13}{10} = 7.713$
- Fila 2: $\frac{60000}{33793} = 1.775$
- Fila 3: $\frac{6}{6} = 1$

El menor cociente positivo es la tercera fila, siendo esta la fila pivote.

$Nueva\ Fila\ A_1 = [0, -5.84, 1, 0, -1.67, 1, 0, -1.67, 67.13]$

$Nueva\ Fila\ A_2 = [0, 0, 0, 1, -11264.3, 0, 1, -11264.3, 26207]$

$Nueva\ Fila\ Z = [14185.32, 14185.32, 0, 0, 4728.4, M, M, M, 28370.64]$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 39

Nueva Tabla simplex

VB	x1	x2	s1	s2	s3	a1	a2	a3	RS
a1	0	-5.84	1	0	-1.67	1	0	-1.67	67.13
a2	0	0	0	1	-5632.2	0	1	-5632.2	26207
x1	1	1	0	0	0.167	0	0	0.167	1
Z	14185.3	14185.3	0	0	4728.4	M	M	M	28370.64

La tabla *simplex* muestra que la solución óptima se ha alcanzado con un valor de la función objetivo Z de S/.28,370.64, que representa el costo operativo mínimo al utilizar un camión compactador y un camión baranda por día. Los valores en la columna RS indican que la restricción de capacidad se satisface con un uso de 67.13 unidades de capacidad, la restricción de distancia se satisface con 26,207 m recorridos, y la restricción de tiempo se satisface con exactamente 1 unidad de tiempo utilizada, cumpliendo con los límites establecidos.

Tabla 30

Resumen de la Ruta Nueva Esperanza

Parámetro	Diagnóstico Inicial	Método *Simplex*
Distancia recorrida (m)	33793	33793
Residuos generados (t)	1309.94	1309.94
Costo diario (S/)	42555.96	34044.77
Viajes diarios	1	2.4

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

El diagnóstico de partida se presentaba con un gasto diario de S/ 42,555.96. Por medio de la puesta en práctica y adopción de los planteamientos técnicos del modelo de optimización, se logró contener ese gasto diario en S/ 34,044.77, con 2.4 viajes diarios. Dicha contención del 20.1 % pone de manifiesto la mejora sobre la planificación operativa, limitando los viajes en vacío y potenciando la asignación de vehículos.

24.7. ZONA 7: RUTA DE TABLADA LURÍN

La siguiente tabla exhibe las variables con sus respectivos valores de la zona de Tablada Lurín.

Tabla 31

Variables identificadas para la zona Tablada Lurín

Variables identificadas	Valores
Número de viajes del camión tipo	1 viaje por día
Costo operativo diario del camión tipo	14185.32 S/.
Capacidad de carga del camión tipo	10 m³ de camión compactador y 4.16 t del camión baranda
Distancia recorrida desde el punto	45010 m
Tiempo de operación del camión	6 h
Número total de camiones disponibles	4 camiones compactadores y 2 camiones baranda
Capacidad total de recolección por día	67.86 t
Distancia máxima permitida	60 km
Tiempo máximo permitido	6 h

***Nota*:** Características del acopio de los residuos sólidos. Tomado del “Mapa de rutas de recolección del servicio de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad distrital de Villa María del Triunfo”.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

a. Formulación del problema

Definición de los ítems de problemas:

- x_1: Número de camiones compactadores operando.
- x_2: Número de camiones baranda operando.

Paso 2: Función Objetivo

Para minimizar el costo operativo diario, la función objetivo es:

$$Minimizar\ Z = 14185.32x_1 + 14185.32x_2$$

b. Restricciones

Dadas las condiciones del problema, las restricciones son las siguientes:

Restricción de distancia recorrida

$$45010x_1 + 45010x_2 \leq 60000$$

Restricción de tiempo de operación

$$6x_1 + 6x_2 \leq 6$$

Restricción de capacidad total de recolección

$$10x_1 + 4.16x_2 \geq 67.86$$

Restricción de no negatividad

$$x_1, x_2 \geq 0$$

c. Variables de Holgura

Para aplicar el método de la Gran M, se agregó las variables de holgura y exceso:

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Para la primera restricción

$$45010x_1 + 45010x_2 + s_1 = 60000$$

Para la segunda restricción

$$6x_1 + 6x_2 + s_2 = 6$$

Para la tercera restricción

$$10x_1 + 4.16x_2 - e_1 = 67.86$$

La función Z , incluyendo la penalización de las valores artificiales, es:

$$Minimizar\ Z = 14185.32x_1 + 14185.32x_2 + M(e_1)$$

Tabla 42

Tabla simplex inicial

VB	X1	X2	S1	S2	e1	RS
S1	45010	45010	1	0	0	60000
S2	6	6	0	1	0	6
e1	10	4.16	0	0	-1	67.86
Z	14185.32	14185.32	0	0	M	0

Se determina los coeficientes de la columna de entrada.

- Para $s_1 = \frac{60000}{45010} = 1.33$
- Para $s_2 = \frac{6}{6} = 1$
- Para $e_1 = \frac{67.86}{10} = 6.786$

Actualización de filas

$$Nueva\ Fila\ s_1 = [0,0,1,-7501.67,0,14990]$$

$$Nueva\ Fila\ e_1 = [0,-5.84,0,-1.67,-1,57.86]$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 43

Nueva Tabla simplex

VB	X1	X2	S1	S2	e1	RS
S1	0	0	1	-7501.67	0	14990
X1	1	1	0	0.167	0	1
e1	0	-5.84	0	-1.67	-1	57.86
Z	0	0	0	-M/6	M	0

En este caso, s_1 tiene un valor de 14,990, lo que sugiere que esta variable de holgura tiene un exceso considerable, indicando que no se ha utilizado completamente el recurso asociado. La variable x_1, con un valor de 1, indica que se ha alcanzado un nivel óptimo de utilización del recurso correspondiente. La variable artificial e_1 muestra un valor positivo de 57.86, lo que implica que, para cumplir con la restricción, se ha tenido que incluir un recurso adicional, penalizado por el valor de M. La función objetivo Z se mantiene en 0, lo que significa que no hay costos adicionales asociados en esta iteración, pero la presencia de M indica que aún existe una penalización por la inclusión de la variable artificial e_1.

Tabla 44

Resumen de la ruta de Tablada Lurín

Parámetro	Diagnóstico Inicial	Método *Simplex*
Distancia recorrida (m)	45010	45010
Residuos generados (t)	1190.64	1190.64
Costo diario (S/)	42555.96	35463.3
Viajes diarios	1	2.5

La zona de partida evidenciaba, en un primer momento, un coste estimado de S/ 42,555.96. Tras la optimización, el coste diario de la zona determinada

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

adquirió el valor de S/ 35,463.30, dado que la zona hizo 2.5 viajes al día, lo que supone un ahorro de alrededor del 16.6 %, reflejando una buena capacidad de ajuste entre el volumen de residuos y la disponibilidad de los viajes de la operación.

VI. DISCUSIONES

La aplicación del método *simplex* se logró optimizar eficientemente los trayectos de acopio de residuos sólidos, evidenciando una reducción significativa en los importes operativos diarios, lo que confirma que este método matemático es adecuado para planificar rutas eficientes y adaptadas a las restricciones propias del distrito, entre ellas, la capacidad de carga que poseen los vehículos., la distancia máxima permitida y el tiempo máximo de operación. En particular, la notable reducción del costo en la zona de José Gálvez, que pasó de S/ 42,555.96 a S/ 1,019.96, representa una mejora de más del 97 %, lo que ejemplifica cómo la optimización matemática puede impactar directamente en la eficiencia del servicio público. Estos hallazgos se encuentran en línea con los estudios internacionales que han validado la efectividad de modelos matemáticos y algoritmos de optimización para la gestión de residuos, como el trabajo de Márquez et al. (2019) que emplearon algoritmos basados en colonias de hormigas para optimizar trayectos de acopio con resultados positivos en términos de reducción de distancias y estabilidad de las soluciones, y la investigación de Guamán et al. (2017), que aplicaron programación lineal para mejorar la distribución y costos operativos en la ciudad de Ambato, evidenciando beneficios económicos y operativos. Por tanto, el logro del objetivo general no solo demuestra la viabilidad del método *simplex* en el contexto local, sino que

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

también lo posiciona como una herramienta sólida para mejorar la gestión ambiental urbana, aportando bases para su aplicación en otros distritos con problemáticas similares.

El análisis detallado de los parámetros estipulados en el Capítulo 2, Subcapítulo III D.S. Nº014-2017-MINAM permitió establecer con claridad y fundamentado normativo la gestión de la recolección de residuos sólidos en VMT, contemplando aspectos críticos como el tipo y capacidad de vehículos, las rutas, los tiempos y la periodicidad de recolección. Esta revisión fue esencial para ajustar el modelo de optimización a las condiciones reales y legales que regulan el servicio, garantizando la viabilidad técnica y legal del plan propuesto. La consideración de estos parámetros se alinea con estudios similares que enfatizan la necesidad de respetar los marcos regulatorios para el éxito de proyectos de gestión ambiental urbana; por ejemplo, Mecías et al. (2023) destacaron que la incorporación de normativas locales y nacionales en el diseño de rutas optimizadas favorece la aceptación institucional y la sostenibilidad operativa de los servicios de recolección. Asimismo, este enfoque normativo contribuye a que las soluciones no solo sean eficientes en términos matemáticos, sino también compatibles con las políticas públicas vigentes, fortaleciendo la gobernanza ambiental. En conclusión, la correcta identificación y análisis de estos parámetros normativos resultaron fundamentales para asegurar que el método *simplex* se aplicara sobre una base sólida, acorde con los requerimientos legales y operativos que definen el contexto del distrito.

La aplicación del método *simplex* de la Gran M resultó fundamental para modelar y resolver el problema de optimización planteado, permitiendo estimar con

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

precisión los parámetros operativos necesarios para minimizar los costos asociados al acopio de residuos sólidos. Esta implementación matemática facilitó la asignación eficiente de la flota vehicular, optimizando la cantidad de viajes, la capacidad de carga utilizada, y ajustando las rutas para cumplir con restricciones de distancia y tiempo, tal como se evidenció en la reducción significativa de costos operativos diarios, especialmente en zonas críticas como José Gálvez, con un ahorro superior al 97 %. Este resultado reafirma el poder de la programación lineal para solucionar desafíos complejos en la gestión ambiental urbana, en concordancia con las conclusiones obtenidas por Guamán et al., quienes, mediante programación lineal, lograron optimizar la distribución de vehículos y reducir costos en Ambato (Guamán et al., 2017). Además, el uso del método de la Gran M permitió manejar eficazmente las restricciones de igualdad y desigualdad del problema, lo cual es crucial para escenarios reales con múltiples limitaciones, como lo señala Pérez (2010) en sus estudios sobre programación lineal avanzada. En suma, la aplicación rigurosa de esta técnica matemática posibilitó una mejora sustancial en la eficiencia operativa, demostrando su aplicabilidad práctica y aportando un modelo replicable para otros municipios con características similares.

La definición clara y precisa de los sectores de recolección fue crucial para adaptar el modelo de optimización a las particularidades geográficas y demográficas del distrito de VMT, permitiendo segmentar el territorio en zonas homogéneas según volumen y características de generación de residuos. Esta segmentación posibilitó diseñar rutas específicas y eficientes para cada sector, maximizando el aprovechamiento de los recursos a disposición y garantizando una cobertura adecuada y equitativa. El análisis detallado de las distancias

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

recorridas, capacidad de carga requerida y frecuencias de recolección para cada sector refleja un enfoque integral y contextualizado que mejora la planificación del servicio. Este procedimiento concuerda con las recomendaciones de Márquez et al. (2019), quienes enfatizaron que la consideración de la variabilidad espacial en la planificación de rutas es esencial para alcanzar un funcionamiento eficiente y disminuir gastos en los sistemas de recogida de desechos. Asimismo, la delimitación de sectores es compatible con los criterios planteados por Mecías et al. (2023) que, al analizar la cantidad diaria y tipo de desecho en diferentes zonas, lograron diseñar rutas ajustadas a las necesidades locales, mejorando el servicio de recolección. Por lo tanto, la correcta definición y análisis de los sectores de recolección no solo facilitó la optimización del sistema mediante el método *simplex*, sino que también contribuyó a la sostenibilidad y efectividad de la gestión.

VII. CONCLUSIONES

- Al aplicar del método *simplex* demostró ser una herramienta eficaz para optimizar las rutas de acopio de residuos sólidos en el distrito, logrando una disminución sustancial en los costes operativos diarios y una asignación eficiente de la flota vehicular, lo que favorece el incremento del rendimiento y sostenibilidad del servicio público ambiental.
- El análisis y consideración de los parámetros establecidos en el Capítulo 2 Subcapítulo III D.S. Nº014-2017-MINAM permitió adecuar la metodología a las normativas vigentes y condiciones operativas del distrito, asegurando que la optimización propuesta sea viable técnica y legalmente, y facilitando una gestión ambiental responsable y conforme a los lineamientos institucionales.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

- La implementación del método *simplex* de la Gran M posibilitó estimar y ajustar los parámetros necesarios para minimizar los costos asociados a la recolección, demostrando que el uso de técnicas de programación lineal avanzada puede manejar eficazmente las restricciones reales del sistema, optimizando viajes, tiempos y capacidades, con impactos directos en la reducción del gasto público.
- La definición precisa de los sectores de recolección permitió segmentar el distrito en zonas homogéneas que consideran la generación y características específicas de residuos, favoreciendo la planificación y diseño de rutas adaptadas a las necesidades locales, lo que incrementa la cobertura, eficiencia y equidad en provisión del servicio de recogida de RR.SS.

VIII. RECOMENDACIONES

- Las autoridades municipales del distrito de VMT implementen de forma sistemática el método *simplex* para la planificación y optimización de los trayectos de recolección de residuos sólidos, con el propósito de maximizar productividad y reducir costos asociados al servicio público, garantizando una gestión ambiental sostenible y responsable.
- Se sugiere fortalecer el cumplimiento y actualización periódica de los parámetros normativos establecidos en el Capítulo 2, Subcapítulo III del D.S. Nº014-2017-MINAM promoviendo capacitaciones y auditorías técnicas que aseguren que las actividades de recolección se ajusten a las disposiciones legales y técnicas vigentes, mejorando la calidad del servicio y la aceptación social.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

- Es aconsejable ampliar la aplicación del método *simplex* de la gran m a otros distritos y municipios con problemáticas similares en el manejo de RR.SS., adaptando los parámetros y restricciones a cada contexto local, para potenciar la eficiencia y sostenibilidad de los servicios de recolección a nivel regional o nacional.
- Se sugiere realizar estudios periódicos para la redefinición y actualización de los sectores de recolección, considerando la dinámica demográfica y cambios en la generación de residuos, a fin de mantener rutas optimizadas que se ajusten a los requerimientos efectivos de los habitantes y mejoren la cobertura y equidad del servicio.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

IX.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcantara, V. D. (2024). *Análisis Y Optimización De Las Rutas De Recolección De Residuos Sólidos En Un Distrito De Lima Metropolitana.* PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.

Álvarez, M. I. (2018). *Programación Lineal para la toma de decisiones* . Riobamba, Ecuador: Aval ESPOCH.

Arena, C. M. (2010). *Estudio Comparativo del Método Simplex y el Método de Puntos Interiores Primal-Dual para Programación Lineal.* UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA.

Carrasco, E ; Diaz Y. (2017). *Optimizacion de las rutas recolectoras de residuos solidos en el distrito de Chiclayo, para mejorar la eficiencia del servicio de limpieza*.Universidad Señor de Sipan

Cetrulo, N. M., Cetrulo, T. B., Dias, S. L., & Ramos, T. B. (2020). Indicadores de resíduos sólidos em sistemas de avaliação de sustentabilidade local: uma revisão da literatura. *Ambiente & Sociedade*, 33.

Chávez, R. F. (2021). *El Tratamiento De Los Residuos Sólidos En La Municipalidad De San Juan De Lurigancho y La Responsabilidad Civil Extracontractual.* Universidad San Martín de Porres.

CHENGLI GROUP. (2024). *ISUZU GIGA 10T a compactador de camión de basura con cargador trasero de 12 toneladas.* CHENGLI GROUP.

Cuyubamba, Z. D. (2019). *Implementación De Un Programa De Sensibilización Ambiental Participativa En Los Asentamientos Humanos Del Distrito De*

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Yanacancha Pasco, Para Optimizar El Recojo De Sus Residuos Sólidos - 2017. Universidad Nacional Federico Villareal.

DEMUCA. (2002). *Guía De Herramientas Municipales Para La Promoción Del Desarrollo Económico Local.* Fundación Demuca.

Farez, C. B., & Huanca, G. D. (2021). *Rediseño de las rutas de recolección de los residuos sólidos del cantón Huaquillas.* Universidad Politécnica Salesiana.

Flores, T. C., & Flores, C. K. (2021). *The simplex method of linear programming as applied to a furniture distribution company.* Revista entorno.

FOVIDA. (2018). *Agenda Mujeres y Cambio Climático.* Actuemos frente al cambio climático.

Guamán, L. Á., Miño, C. G., & Cayán, M. J. (2017). *OPTIMIZATION OF THE SOLID WASTE COLLECTION PROCESS OF THE CITY OF AMBATO THROUGH THE DESIGN OF A NETWORK DISTRIBUTION MODEL.* ECA Sinergia.

Guerrero, B. A. (2021). *Rediseño de las rutas de recolección de los residuos sólidos del cantón Huaquillas.* Cuenca, Ecuador : Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

Hernández, S. R., & Mendoza, T. C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas: cuantitativa ,cualitativa y mixta.* México: McGrawHill.

Huiman, A. (2023). *Situación actual de los residuos sólidos.* El Peruano.

Jaramillo, T. N. (2020). *Programación Lineal Método Gráfico y Simplex.* Universidad Técnica de Machala.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Jose, F. (02 de Mayo de 2023). *¿Qué es una Ficha de Observación?* Obtenido de Reporte de Lectura: https://reportedelectura.org/fichas/observacion

Limache, F. M. (2021). *Programa de mejora del nivel de concientización ciudadana sobre la recolección de residuos sólidos en el barrio de San Carlos, Huancayo.* Industrial Data.

Lopez, M., Villagra, A., & Pandolfi, D. (2023). *Optimización de rutas en la recolección de residuos tecnológicos.* Informes Científicos Técnicos - UNPA.

MANUEL, A. B. (2018). *DESARROLLO DE UN PLANIFICADOR DE RUTAS PARA RECOJO DE DESECHOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE CHICLAYO UTILIZANDO ALGORITMO DE DIJKSTRA.* Pimental, Perú: Universidad Señor de Sipan.

Márquez, C. F., Rodríguez, V. K., & Garro, L. B. (2019). *Design of solid-waste collection routes using the ant colony optimization algorithm.* https://revistasinvestigacion.lasalle.mx/index.php/recein/article/view/1925/2594.

Mecias, H. N., Nieto, C. C., Sinchi, R. C., Guamán, S. V., & Bosquez, M. A. (2023). *Optimización de la recolección de residuos sólidos urbanos en el cantón San Lorenzo, provincia de Esmeraldas, Ecuador.* Brazilian Applied Science review.

Melgarejo, Q. M. (2022). *La gestión municipal en la segregación de residuos sólidos. Villa María del Triunfo, 2021.* Universidad César Vallejo.

MINAM . (2020). *Gestión de residuos sólidos.* MINAM.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Minga, Q. M., & Zhiminaycela, L. Y. (2019). *"Optimización De Las Rutas De Recolección De Los Residuos Sólidos Urbanos Del Centro Cantonal SÍGSIG".* UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

Moncayo, M. L., & Muñoz, D. F. (2018). *A Computational Application for Teaching the Simplex Algorithm and its Computational Implementation.* Revista Formación Universitaria.

Municipalidad de Villa María del Triunfo. (2020). *Resolución de Alcaldía N° 45.* Municipalidad de Villa María del Triunfo.

Municipalidad Distrital de Villa María del Triunfo. (2023). *Cronograma, Horario y Frecuencia del servicio de Recolección de Residuos Sólidos.* Municipalidad Distrital de Villa María del Triunfo. Obtenido de https://www.gob.pe/institucion/munivillamariadeltriunfo/informes-publicaciones/4565729-cronograma-horario-y-frecuencia-del-servicio-de-recoleccion-de-residuos-solidos

Ocaña, M. M., Pérez, F. M., & Quijano, L. R. (2013). ELABORACIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA ESCALA DE CREENCIAS DE LOS ALUMNOS DE EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA RESPECTO AL MEDIO AMBIENTE. *Revista de currículum y formación de profesorado*, 431-454. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/567/56726350025.pdf

Pérez, G. O. (2010). *Investigación de Operaciones I.* Tecnológico De Estudios Superiores Del Oriente Del Estado De México.

Pérez, P. R. (2019). *Introducción A Los Modelos De Optimizacion.* Universidad Piloto de Colombia.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Quesada, C. A., Ramos, M. S., Sánchez, V. C., & Sarmiento, R. A. (2020). *Índice de progreso social del distrito de Villa María del Triunfo.* Pomtificia Universidad Católica del Perú.

Ramírez, C. V., Vázquez, A. M., & Ruiz, R. A. (2022). *The simplex method as a tool in the optimization of resources of an agro-industrial enterprise.* Revista RELIGACION.

Rimarachín, C. L. (2021). *El manejo de residuos sólidos municipales y el impacto ambiental en el distrito de Villa María del Triunfo – Lima.* Universidad Señor de Sipan.

Rodríguez, G. A., & Baca, C. K. (2022). *Generation of Urban Solid Waste (RSU): analysis of a decade of management in European and American countries.* Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas.

Romero, M. (2022). *Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular.* Tecnológicas. Obtenido de https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/2505

Solórzano, C. A. (2021). *Problemática socioambiental de las Lomas.* Lima, Perú: Revista de Ciencias Sociales.

Valdivia, Q. F. (2017). *Clasificación de los residuos.* EGASA.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

X. ANEXOS

Anexo 1. Ficha de Observación

La siguiente Ficha de Observación, una herramienta esencial en la presente investigación sobre la gestión de residuos sólidos en el distrito de Villa María del Triunfo. Esta ficha ha sido diseñada con el objetivo de recoger información detallada y precisa sobre aspectos clave del servicio de recolección de residuos sólidos en el distrito.

La ficha se compone de una serie de aspectos a observar, que abarcan desde la división del distrito para el servicio de limpieza, hasta la cantidad de residuos que llegan al Relleno Sanitario Portillo Grande. Cada uno de estos aspectos ha sido cuidadosamente seleccionado para proporcionar una visión completa y detallada de la situación actual de la gestión de residuos sólidos en el distrito.

N°	Aspecto Que Observar	Observaciones
1	División del distrito en áreas y horarios para el servicio de limpieza	
2	Existencia de rutas específicas para la recolección de residuos sólidos	
3	Número total de vehículos recolectores disponibles y en funcionamiento (Especifica la ruta y el número de vehículos)	
4	Cantidad de personal encargado de la recolección de residuos sólidos por área	
5	Cantidad de residuos sólidos por cada vehículo recolector y por cada ruta	

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

6	Cantidad de residuos sólidos que llegan al Relleno Sanitario Portillo Grande	
7	Medidas para fomentar la participación de la comunidad en la separación adecuada de los residuos sólidos	

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Anexo 2. Residuos Sólidos del Distrito de Villa María del Triunfo - Mayo 2023

Descripción/Fechas	1/05/2023	2/05/2023	3/05/2023	4/05/2023	5/05/2023	6/05/2023	7/05/2023	8/05/2023	9/05/2023	10/05/2023	11/05/2023	12/05/2023	13/05/2023	14/05/2023	15/05/2023
ZONA I: JCM	62.69	76.76	97.96	105.82	94.29	129.26	62.75	107.67	114.91	104.24	93.54	98.49	75.48	25.06	111.21
ZONA II: CERCADO	42.8	74.72	75.62	52.36	73.25	60.76	26.64	79.12	66.6	52.65	61.25	61.22	64.5	32.61	79.35

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ZONA III: INCA La tabla inicial del método simplex organiza las variables de decisión ($x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$) y las variables de holgura (s_1, s_2, s_3) junto con las restricciones y la función objetivo. En esta tabla, cada fila representa una restricción convertida en una ecuación de igualdad mediante la adición de variables de holgura, mientras que la fila de la función objetivo muestra los coeficientes negativos de las variables	33.3	81.23	70.35	85.22	62.81	53.68	56.11	72.79	66.24	42.65	43.44	41.3	57.33	25.82	56.59
ZONA IV: NUEVA ESPERANZA	34.45	35.49	32.95	41.66	45.12	41.83	22.03	62.9	52.14	62.03	47.37	63.46	43.38	26.46	44.48
ZONA V: TABLADA DE LURIN	19.66	40.05	52.86	40.7	49.94	47.76	20.03	30.91	42.81	44.63	48.04	51.99	44.04	0	52.53

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ZONA VI: JOSE GALVEZ	26.55	40.23	28.87	38.59	29.88	41.22	23.8	47.49	49.2	49.4	55.26	39.14	37.81	18.07	30.23
ZONA VII: NUEVO MILENIO	0	8.08	8.27	6.09	6.77	0	0	14.38	9.08	6.44	8.39	10.65	8.56	0	0
PUNTOS CRITICOS	88.97	105.09	40.97	42.58	44.12	27.14	60.45	98.83	26.45	14.94	34.04	32.71	10.84	46.25	91.95
PESO TOTAL DIARIO	308.42	462.65	408.8	412.93	405.88	401.65	271.82	514.08	427.43	377.02	397.33	398.87	341.64	174.21	466.34

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Descripción/Fechas	16/05/2023	17/05/2023	18/05/2023	19/05/2023	20/05/2023	21/05/2023	22/05/2023	23/05/2023	24/05/2023	25/05/2023	26/05/2023	27/05/2023	28/05/2023	29/05/2023	30/05/2023
ZONA I: JCM	113.53	97.66	103.31	110.54	98.01	33.89	110.72	112.1	111.5	85.9	82.3	81.5	23.7	94.7	99.8
ZONA II: CERCADO	58.13	70.5	63.76	74.4	66.93	36.46	79.65	78.79	63.16	61.68	84.81	62.4	43.08	92.64	76.25
ZONA III: INCA PACHACUTEC	65.73	55.15	60.44	75.15	57.2	34.53	72.91	56.46	72.05	59.29	69.02	45.28	29.66	73.52	89.67

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ZONA IV: NUEVA ESPERANZA	49.63	43.14	50.07	44.93	45.18	21.09	54.89	62.98	41.43	55.22	39.42	54.97	32.41	42.1	43.67
ZONA V: TABLADA DE LURIN	48.45	45.69	44.89	34.22	39.01	7.55	31.3	48.47	30.23	34.41	42.02	24.64	0	38.3	41.84
ZONA VI: JOSE GALVEZ	33.61	44.96	37.95	31.2	40.28	22.48	51.18	55.86	49.75	42.5	36.29	51.92	24.61	54.12	35.52
ZONA VII: NUEVO MILENIO	13.61	6.66	8.71	6.79	7.38	0	6.22	7.89	0	8.39	11.62	0	0	6.29	9.5

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

PUNTOS CRITICOS	40.11	64.53	41.75	46.26	66.73	41.12	113.89	37.9	23.13	45.5	5.52	29.5	34.76	39.53	50.86
PESO TOTAL DIARIO	422.88	428.23	410.88	423.49	420.72	197.12	520.76	460.45	391.25	392.89	371.05	350.24	188.26	441.27	447.29

Junio 2023

Descripción/Fechas	16/06/2023	17/06/2023	18/06/2023	19/06/2023	20/06/2023	21/06/2023	22/06/2023	23/06/2023	24/06/2023	25/06/2023	26/06/2023	27/06/2023	28/06/2023	29/06/2023	30/06/2023
ZONA I: JCM	47.81	136.35	135.01	35.14	141.61	127.74	117.75	101.08	91.84	90.12	65.78	107.08	109.22	86.32	101.71
ZONA II: CERCADO	61.78	49.89	32	35.45	57.82	44.77	52.61	62.11	55.06	54.9	28.92	70.01	45.44	33.4	35.31

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ZONA III: INCA PACHACUTEC	70.85	55.03	59.65	22.23	88.35	102.86	79.05	71.92	84.24	85.18	53.09	83.37	62.95	71.18	76.75
ZONA IV: NUEVA ESPERANZA	49.09	33.88	32.27	34.87	62.25	38	48.07	44.81	53.2	50.7	30.34	50.57	54.98	39	39.97
ZONA V: TABLADA DE LURIN	17.12	32.08	31.56	12.14	41.2	37.47	50.48	39.34	41.46	37.28	10.06	30.47	52.59	35.15	50.85
ZONA VI: JOSE GALVEZ	42.02	33.45	42.24	24.11	43.18	52.29	36.15	51.83	38.73	36.86	19.72	48.23	54.24	31.36	42.43
ZONA VII: NUEVO MILENIO	6.48	5.27	10.67	0	10.66	7.17	4.77	5.11	6.64	4.48	0	4.9	10.14	9.59	9.62
PESO TOTAL DIARIO	295.15	345.95	343.4	163.94	445.07	410.3	388.88	376.2	371.17	359.52	207.91	394.63	389.56	306	356.64

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Descripción/Fechas	16/06/2023	17/06/2023	18/06/2023	19/06/2023	20/06/2023	21/06/2023	22/06/2023	23/06/2023	24/06/2023	25/06/2023	26/06/2023	27/06/2023	28/06/2023	29/06/2023	30/06/2023
ZONA I: JCM	82.11	81.49	25.459	125.29	95.02	108.24	103.65	93.52	106.86	56.54	131.2	107.43	96.49	58.43	95.51
ZONA II: CERCADO	50.58	56.98	13.662	56.07	55.47	61.72	48.65	53.33	46.01	43.1	46.98	55.11	57.78	40.81	56.75
ZONA III: INCA PACHACUTEC	80.32	76.7	20.218	85.26	83.28	62.13	67.74	98.58	63.13	48.31	79.55	67.22	62.07	62.54	66.64
ZONA IV: NUEVA ESPERANZA	52.1	41.82	12.934	77.13	57.2	49.51	51.44	47.67	50.14	29.25	48.4	49.95	40.87	31.44	71.82
ZONA V: TABLADA DE LURIN	38.75	46.57	10.726	29.63	38.72	42.18	52.3	37.89	42.49	19	45.39	46.3	40.13	20.71	49.42
ZONA VI: JOSE GALVEZ	37.37	34.51	11.133	46.91	45.13	40.95	46.69	38.67	46.56	13.32	42.88	40.31	34.9	37.42	25.95

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ZONA VII: NUEVO MILENIO	4.56	4.37	1.821	9.63	9.04	8.13	8.7	6.38	0	0	9.35	10.04	9.36	0	0
PESO TOTAL DIARIO	345.79	342.44	95.952	429.92	383.86	372.86	379.17	376.04	355.19	209.52	403.75	376.36	341.6	251.35	366.09

Julio 2023

Descripción/Fechas	1/07/2023	2/07/2023	3/07/2023	4/07/2023	5/07/2023	6/07/2023	7/07/2023	8/07/2023	9/07/2023	10/07/2023	11/07/2023	12/07/2023	13/07/2023	14/07/2023	15/07/2023	16/07/2023
ZONA I: JCM	99.13	19.45	70.23	74.19	87.07	89.51	91.24	62.23	38.17	109.94	101.61	84.38	80.68	105.25	77.09	23.96
ZONA II: CERCADO	52.07	46.1	98.23	92.32	48.94	62.54	64.61	54.72	36.32	66.45	64.22	49.35	63.18	48.62	49.36	53.72
ZONA III: INCA PACHACUTEC	56.37	21.76	79.45	78.44	71.78	71.82	54.42	147.31	39.26	62.83	56	60.76	46.91	49.35	47.2	60.76

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ZONA IV: NUEVA ESPERANZA	43.05	34.34	40.57	51.89	48.19	42.67	33.62	40.51	25.86	44.84	49.03	34.02	41.37	42.56	45.98	31.13
ZONA V: TABLADA DE LURIN	45	20.17	45.77	40.65	40.82	31.28	53.4	40.53	10.08	59.68	59.24	67.86	54.04	53.76	64.88	67.86
ZONA VI: JOSE GALVEZ	38.05	20.92	53.22	41.91	42.32	40.8	38.88	36.21	28.46	40.54	44.05	38.45	36.35	42.47	35.44	23.19
ZONA VII: NUEVO MILENIO	6.49	0	24.55	0	4.84	6.64	5.12	0	0	5.94	9.47	4.03	11.22	5.74	0	0
PUNTOS CRITICOS	4.49	24.32	67.31	0	16.46	0	0	0	66.71	0	0	26.27	0	0	66.38	45.37
PESO TOTAL DIARIO	344.65	186.96	479.33	379.4	360.42	345.26	341.29	381.51	178.15	456.93	383.62	365.12	333.75	347.75	386.33	209.66

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Descripción/Fechas	17/07/ 2023	18/07/ 2023	19/07/ 2023	20/07/ 2023	21/07/ 2023	22/07/ 2023	23/07/ 2023	24/07/ 2023	25/07/ 2023	26/07/ 2023	27/07/ 2023	28/07/ 2023	29/07/ 2023	30/07/ 2023	31/07/ 2023	
ZONA I: JCM	87.31	95.89	82.08	99.87	74.37	81.82	13.18	76.29	87.19	91.39	92.85	69.55	43.39	16.33	70.08	
ZONA II: CERCADO	53.63	50.79	75.79	59.8	75.17	51.24	54.05	74.79	63.44	46.88	40.97	44.44	40.78	22.69	76.24	
ZONA III: INCA PACHACUTEC	57.94	65.65	46.43	53.93	53.64	50.25	16.53	67.07	48.69	59.09	52.48	48.03	25.1	8.54	72.27	
ZONA IV: NUEVA ESPERANZA	47.82	47.87	50.5	40.75	42.89	37.23	10.77	48.12	41.85	50.14	39.99	29.87	22.99	18.87	39.99	
ZONA V: TABLADA DE LURIN	61.13	34.33	40.89	53.92	50.96	51.29	0	54.15	58.45	60.92	55.09	48.18	7.87	7.06	56.24	
ZONA VI: JOSE GALVEZ	45.31	39.99	37.75	36.14	35.71	33.49	21.99	41	40.32	34.95	38.95	36.29	25.18	15.47	47.25	

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ZONA VII: NUEVO MILENIO	7.04	6.53	7	5.33	6.03	0	0	4.57	8.67	0	5.24	0	0	0	6.25	
PUNTOS CRITICOS	80.74	81.48	0	2	2.49	63.95	84.87	93.24	23.78	0	30.24	80	130.78	47.56	156.58	
PESO TOTAL DIARIO	440.92	418.96	339.97	353.41	340.56	375.3	201.39	459.23	372.39	343.37	355.81	356.36	297.09	136.52	531.83	

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

CONSTANCIA N° 277-CIEI-CIENTÍFICA-2023

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Científica del Sur (CIEI-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido aprobado por el CIEI-CIENTÍFICA.

Código de registro: **488-2021-PRE11**

Título: **Aplicación del método Simplex para lo optimización de las rutas de recolección de residuos sólidos en el distrito de Villa María del Triunfo (Lima Metropolitana)**

Investigador(a): **Alejandra Gutierrez Seguil**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (hasta el 08 de abril del 2025), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 09 de octubre del 2023

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR – Comité Institucional de Ética en Investigación – UCSUR

Mg. Cinthya Ruth Chipana Herquinio
Presidente
Comité Institucional de Ética en Investigación

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°176-2023-DACIA-DAFCA-U. CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima, 20 de diciembre del 2023

VISTO:
El informe de revisión académica independiente y la aprobación de un Comité de Ética (**N° de Constancia: 277-CIEI-CIENTÍFICA-2023**) del proyecto de tesis titulado: ***APLICACIÓN DEL MÉTODO SIMPLEX PARA LO OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE VILLA MARÍA DEL TRIUNFO (LIMA METROPOLITANA)***, presentado por:

- **ALEJANDRA GUTIERREZ SEGUIL**

CONSIDERANDO:
Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniero(a) Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, según la modalidad elegida, es necesario la realización y sustentación de una tesis.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:
Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: ***APLICACIÓN DEL MÉTODO SIMPLEX PARA LO OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE VILLA MARÍA DEL TRIUNFO (LIMA METROPOLITANA),*** con N° de registro: **488-2021-PRE11**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **PERCY IRRIBAREN IBANEZ** como **ASESOR** para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,

Mg. Mirtha Rosario Nazario Ramirez
Decano (e)
Carrera de Ingeniería Ambiental