Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Matemáticas
Escuela Profesional de Investigación Operativa

Simulación para la localización de un garaje que disminuya costos de una empresa de transporte en Ica – Perú

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa

AUTOR

Jesús Antonio BEDÓN FRANCIA

ASESOR

Dr. Paulo Cesar OLIVARES TAIPE

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

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

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

Referencia bibliográfica

Bedón, J. (2024). *Simulación para la localización de un garaje que disminuya costos de una empresa de transporte en Ica – Perú* [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Escuela Profesional de Investigación Operativa]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Jesús Antonio Bedón Francia
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72111779
URL de ORCID	
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Paulo Cesar Olivares Taipe
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10288397
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-9989-0709
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Carmela Catalina Velásquez Pino
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09078631
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Martín Carlos Aguirre Macavilca
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10244939
Datos de investigación	

Línea de investigación	A.3.3.2. Procesos Estocásticos y Simulación

Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Ica Provincia: Chincha Distrito: Chincha Alta Coordenadas geográficas Latitud: -13.4171305 Longitud: -76.1304149
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Septiembre del 2024
URL de disciplinas OCDE	Matemáticas aplicadas https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO(A) EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA
(PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2024)

En la UNMSM – Ciudad Universitaria – Facultad de Ciencias Matemáticas, siendo las 09:00 horas del sábado 21 de septiembre del 2024, se reunieron los docentes designados como Miembros del Jurado Evaluador (PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2024): Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino (PRESIDENTA), Mg. Martin Carlos Aguirre Macavilca (MIEMBRO) y el Dr. Paulo Cesar Olivares Taipe (MIEMBRO ASESOR), para la sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional titulada: "**SIMULACIÓN PARA LA LOCALIZACIÓN DE UN GARAJE QUE DISMINUYA COSTOS DE UNA EMPRESA DE TRANSPORTE EN ICA - PERÚ**", presentado por el señor **Bachiller JESÚS ANTONIO BEDÓN FRANCIA**, para optar el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Luego de la exposición del Trabajo de Suficiencia Profesional, la Presidenta invitó al expositor a dar respuesta a las preguntas formuladas.

Realizada la evaluación correspondiente por los Miembros del Jurado Evaluador, el expositor mereció la aprobación SOBRESALIENTE, con un calificativo promedio de DIECISIETE (17)**.**

A continuación, los Miembros del Jurado Evaluador dan manifiesto que el participante **Bachiller JESÚS ANTONIO BEDÓN FRANCIA**, en vista de haber aprobado la sustentación de su Trabajo de Suficiencia Profesional, será propuesto para que se le otorgue el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Siendo las 09:30 horas se levantó la sesión firmando para constancia la presente Acta.

Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino
PRESIDENTA

Mg. Martin Carlos Aguirre Macavilca
MIEMBRO

Dr. Paulo Cesar Olivares Taipe
MIEMBRO ASESOR

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Vicerrectorado de Investigación y Posgrado

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo **PAULO CESAR OLIVARES TAIPE** en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal **N° 001263-2024-D-FCM/UNMSM** del Trabajo de Suficiencia Profesional, cuyo título es **Simulación para la localización de un garaje que disminuya costos de una empresa de transporte en Ica - Perú**, presentado por el bachiller **JESÚS ANTONIO BEDÓN FRANCIA** para optar el título de **Licenciado en Investigación Operativa**. CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de **5%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado/ título/ especialidad correspondiente.

Firma del Asesor _____

DNI: 10288397

Nombres y apellidos del asesor: Paulo Cesar Olivares Taipe



UNMSM

DEDICATORIA

Agradezco profundamente a mi familia, cuya guía y respaldo irrestrictos han constituido un pilar esencial en la consecución de este objetivo. Del mismo modo, manifiesto mi gratitud hacia la universidad por la excelsa formación académica y el invaluable apoyo brindado, los cuales han sido determinantes para alcanzar este hito.

RESUMEN

Simulación para la localización de un garaje que disminuya costos de una empresa de transporte en Ica - Perú

JESÚS ANTONIO BEDÓN FRANCIA

Septiembre 2024

Asesor : Dr. Paulo César Olivares Taipe

Título obtenido : Licenciado en Investigación Operativa

La localización del garaje para las pequeñas empresas de transporte de personal es fundamental, pues es el punto de inicio y fin de casi todas sus operaciones. La empresa en estudio tiene altos costos variables, debido a los recorridos no productivos, como se denomina a las distancias que recorren los vehículos del garaje al lugar de inicio de servicio y del lugar del final de servicio al garaje. Por esta razón, se considera cambiar la ubicación de este último. El objetivo de la investigación consiste en localizar un nuevo garaje que disminuya en la mayor medida posible los costos variables. Para ello, se identifica cuatro ubicaciones factibles para el nuevo garaje y se construye un modelo de simulación para cada una usando el software Arena; también se elabora un modelo para la ubicación original. Se obtuvo como resultado principal un ránking de los recorridos no productivos por cada ubicación con los correspondientes costos estimados. Se seleccionó la ubicación factible 2, porque corresponde al menor costo. En conclusión, la reubicación del garaje disminuye los costos variables en más del 11% con respecto al garaje en la ubicación original y reduce los recorridos no productivos.

Palabras clave: *simulación de eventos discretos, localización, transporte privado de pasajeros, ODS 9 y 11.*

ABSTRACT

Simulation for the location of a garage to reduce costs for a transportation company in Ica - Peru.

JESUS ANTONIO BEDON FRANCIA

September 2024

Adviser : Dr. Paulo César Olivares Taipe

Degree obtained : Licentiate in Operations Research

The location of the garage for small personnel transportation companies is fundamental, since it is the starting and ending point of almost all their operations. The company under study has high variable costs, due to the non-productive routes, as it is called the distances that the vehicles travel from the garage to the place where the service starts and from the place where the service ends to the garage. For this reason, a change in the location of the latter is being considered. The objective of the research is to locate a new garage that will reduce variable costs as much as possible. For this purpose, four feasible locations for the new garage are identified and a simulation model is built for each one using Arena software; a model for the original location is also developed. A ranking of the non-productive paths for each location with the corresponding estimated costs was obtained as the main result. Feasible location 2 was selected because it corresponds to the lowest cost. In conclusion, the relocation of the garage to the selected location decreases variable costs by more than 11% with respect to the garage in the original location and reduces non-productive trips.

Keywords: *discrete event simulation, localization, private passenger transport, SDG 9 and 11.*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

I. Introducción 1

II. Información del lugar donde se desarrolló la actividad 4

2.1. Institución dónde se desarrolló la actividad 4

2.2. Organigrama 5

III. Descripción de la actividad 7

3.1. Organización de la actividad 7

3.2. Finalidad 12

3.3. Objetivos 12

3.3.1. Objetivo general 12

3.3.2. Objetivos específicos 12

3.4. Problemática 13

3.4.1. Problema General 14

3.4.2. Problemas Específicos 14

3.5. Justificación 15

3.5.1. Justificación teórica 15

3.5.2. Justificación práctica 15

3.5.3. Justificación metodológica 15

3.6. Metodología y Procedimientos 16

3.6.1. Tipo de investigación 16

3.6.2. Nivel o Alcance 16

3.6.3. Diseño de investigación 16

3.6.4. Variable 17

3.6.5. Técnica e instrumentos de recolección de información 17

3.6.6. Metodología 18

3.6.7. Procedimiento: 27

3.7. Resultado de la actividad 29

3.7.1. Modelo de simulación I con el garaje original 29

3.7.2. Costos promedios de los recorridos no productivos con el modelo I 40

3.7.3. Ubicaciones factibles para el nuevo garaje 43
3.7.4. Costos promedios mensuales con el garaje en las ubicaciones factibles 48

IV. Conclusiones 57

V. Recomendaciones 59

VI. Bibliografía 60

VII. Anexos 62

Anexo 1 Servicios por rutas con el garaje en la ubicación original 62

Anexo 2 Pruebas de bondad de ajuste para los recorridos no productivos 63

Anexo 3 Comparaciones de los recorridos no productivos por rutas 69

Anexo 4 Distribuciones de probabilidad y pruebas de hipótesis de similitud de los recorridos necesarios 71

Anexo 5 Servicios por rutas en las ubicaciones factibles para el nuevo garaje 76

Anexo 6 Pruebas de bondad de ajuste con las ubicaciones factibles 77

Anexo 7 Adaptación del modelo de simulación I con GR2, GR3 y GR4 99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ubicaciones y frecuencia de servicios mensuales de los clientes 7
Tabla 2 Ubicaciones de inicio y fin de servicios por clientes 8
Tabla 3 Ruta por vehículo y mes 12
Tabla 4 Distancias del garaje original (GRO) a los puntos de inicio y fin de los servicios por ruta en kilómetros 29
Tabla 5 Recorrido no productivo inicial y final según Google Maps en kilómetros 30
Tabla 6 Recorrido promedio diario por ruta (con el GRO) 31
Tabla 7 Distribución del RNP1 en R1 mediante la herramienta Input Analyzer 32
Tabla 8 Distribución del RNP2 en R1 mediante la herramienta Input Analyzer 33
Tabla 9 Resumen de las distribuciones de los RNP por rutas 33
Tabla 10 Comparación entre los RNP1 para R1 y R4 34
Tabla 11 Comparación entre los RNP2 para R1 y R4 34
Tabla 12 Entidad para el submodelo de la ruta 1 35
Tabla 13 Atributos del submodelo para R1 36
Tabla 14 Indicadores para el submodelo con R1 36
Tabla 15 Actividades de los módulos para el submodelo de R1 37
Tabla 16 Comparación del recorrido total promedio real con el simulado en kilómetros 38
Tabla 17 Comparación del recorrido no productivo promedio real con el simulado en kilómetros 39
Tabla 18 p-valor de la diferencia de medias entre los RNP reales y simulados de las rutas 40
Tabla 19 Costo unitario promedio por ruta (soles/kilómetros) 40
Tabla 20 p-valor de la diferencia de medias entre los costos unitarios promedios por rutas 41
Tabla 21 Costos promedios mensuales de los recorridos no productivos por rutas 42
Tabla 22 Costos de los recorridos no productivos por rutas con respecto a los costos de los recorridos totales 42
Tabla 23 Posibles ubicaciones para el nuevo garaje 43
Tabla 24 Criterios y pesos para la selección de ubicaciones factibles 43
Tabla 25 Ponderación de posibles ubicaciones por criterios 44
Tabla 26 Distancias de los garajes factibles a los puntos de inicio y fin del servicio a los clientes en kilómetros 45
Tabla 27 Recorrido no productivo inicial y final con los garajes factibles según Google Maps 46

Tabla 28 Distribución del RNP1 para R1 con GR1 mediante la herramienta Input Analyzer 49
Tabla 29 Distribución del RNP2 para R1 con GR1 mediante la herramienta Input Analyzer 50
Tabla 30 Resumen de las distribuciones de los RNP por rutas con el GR1 _____ 51
Tabla 31 p-valor de la diferencia de medias entre los RNP de la prueba piloto y los de los recorridos simulados con el GR1 _____ 51
Tabla 32 Recorridos no productivos totales y sus respectivos costos promedios para las rutas con los garajes factibles _____ 54
Tabla 33 Costos promedios mensuales de los RNPT con el garaje en la posición original y en las ubicaciones factibles _____ 55
Tabla 34 Ranking de los costos promedios mensuales para el nuevo garaje en las ubicaciones factibles _____ 55

Tabla A. 1 Servicios por rutas con GRO _____ 62
Tabla A. 2 Distribución del RNP1 en R2 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 63
Tabla A. 3 Distribución del RNP2 en R2 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 64
Tabla A. 4 Distribución del RNP1 en R3 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 65
Tabla A. 5 Distribución del RNP2 en R3 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 65
Tabla A. 6 Distribución del RNP1 en R4 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 66
Tabla A. 7 Distribución del RNP2 en R4 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 67
Tabla A. 8 Distribución del RNP1 en R5 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 68
Tabla A. 9 Distribución del RNP2 en R5 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 68
Tabla A. 10 Comparación entre los RNP1 para las rutas i y j _____ 69
Tabla A. 11 p-valor de la diferencia de medias entre los RNP1 de las rutas de dos en dos _ 69
Tabla A. 12 Comparación entre los RNP2 para las rutas i y j _____ 70
Tabla A. 13 p-valor de la diferencia de medias entre los RNP2 de las rutas de dos en dos _ 70
Tabla A. 14 Distribución del RN en R1 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 71
Tabla A. 15 Distribución del RN en R2 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 72
Tabla A. 16 Distribución del RN en R3 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 73
Tabla A. 17 Distribución del RN en R4 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 73
Tabla A. 18 Distribución del RN en R5 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 74
Tabla A. 19 Resumen de las distribuciones de los RN por rutas _____ 74
Tabla A. 20 Comparación entre los RN para las rutas i y j _____ 75
Tabla A. 21 p-valor de la diferencia de medias entre los RN de las rutas de dos en dos____ 75
Tabla A. 22 Servicios por rutas en las ubicaciones factibles para el nuevo garaje _____ 76

Tabla A. 23 Distribución del RNP1 en R2 con GR1 mediante Input Analyzer _____77
Tabla A. 24 Distribución del RNP2 en R2 con GR1 mediante Input Analyzer _____78
Tabla A. 25 Distribución del RNP1 en R3 con GR1 mediante Input Analyzer _____79
Tabla A. 26 Distribución del RNP2 en R3 con GR1 mediante Input Analyzer _____79
Tabla A. 27 Distribución del RNP1 en R4 con GR1 mediante Input Analyzer _____80
Tabla A. 28 Distribución del RNP2 en R4 con GR1 mediante Input Analyzer _____81
Tabla A. 29 Distribución del RNP1 en R5 con GR1 mediante Input Analyzer _____82
Tabla A. 30 Distribución del RNP2 en R5 con GR1 mediante Input Analyzer _____82
Tabla A. 31 Distribución del RNP1 en R2 con GR2 mediante Input Analyzer _____83
Tabla A. 32 Distribución del RNP2 en R2 con GR2 mediante Input Analyzer _____84
Tabla A. 33 Distribución del RNP1 en R3 con GR2 mediante Input Analyzer _____84
Tabla A. 34 Distribución del RNP2 en R3 con GR2 mediante Input Analyzer _____85
Tabla A. 35 Distribución del RNP1 en R4 con GR2 mediante Input Analyzer _____86
Tabla A. 36 Distribución del RNP2 en R4 con GR2 mediante Input Analyzer _____86
Tabla A. 37 Distribución del RNP1 en R5 con GR2 mediante Input Analyzer _____87
Tabla A. 38 Distribución del RNP2 en R5 con GR2 mediante Input Analyzer _____88
Tabla A. 39 Distribución del RNP1 en R2 con GR3 mediante Input Analyzer _____88
Tabla A. 40 Distribución del RNP2 en R2 con GR3 mediante Input Analyzer _____89
Tabla A. 41 Distribución del RNP1 en R3 con GR3 mediante Input Analyzer _____90
Tabla A. 42 Distribución del RNP2 en R3 con GR3 mediante Input Analyzer _____90
Tabla A. 43 Distribución del RNP1 en R4 con GR3 mediante Input Analyzer _____91
Tabla A. 44 Distribución del RNP2 en R4 con GR3 mediante Input Analyzer _____92
Tabla A. 45 Distribución del RNP1 en R5 con GR3 mediante Input Analyzer _____92
Tabla A. 46 Distribución del RNP2 en R5 con GR3 mediante Input Analyzer _____93
Tabla A. 47 Distribución del RNP1 en R2 con GR4 mediante Input Analyzer _____94
Tabla A. 48 Distribución del RNP2 en R2 con GR4 mediante Input Analyzer _____94
Tabla A. 49 Distribución del RNP1 en R3 con GR4 mediante Input Analyzer _____95
Tabla A. 50 Distribución del RNP2 en R3 con GR4 mediante Input Analyzer _____96
Tabla A. 51 Distribución del RNP1 en R4 con GR4 mediante Input Analyzer _____96
Tabla A. 52 Distribución del RNP2 en R4 con GR4 mediante Input Analyzer _____97
Tabla A. 53 Distribución del RNP1 en R5 con GR4 mediante Input Analyzer _____98
Tabla A. 54 Distribución del RNP2 en R5 con GR4 mediante Input Analyzer _____98
Tabla A. 55 Distribución del RNP1 para R1 con GR2 mediante la herramienta Input Analyzer _____100

Tabla A. 56 Distribución del RNP2 para R1con GR2 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 101
Tabla A. 57 Resumen de las distribuciones de los RNP por rutas con el GR2 _____ 101
Tabla A. 58 p-valor de la diferencia de medias entre los RNP de la prueba piloto y los de recorridos simulados con el GR2 _____ 102
Tabla A. 59 Distribución del RNP1 en R1con GR3 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 103
Tabla A. 60 Distribución del RNP2 para R1con GR3 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 104
Tabla A. 61 Resumen de las distribuciones de los RNP por rutas con el GR3 _____ 105
Tabla A. 62 p-valor de la diferencia de medias entre los RNP de la prueba piloto y los de recorridos simulados con el GR3 _____ 105
Tabla A. 63 Distribución del RNP1 en R1 con GR4 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 107
Tabla A. 64 Distribución del RNP2 en R1con GR4 mediante la herramienta Input Analyzer _____ 108
Tabla A. 65 Resumen de las distribuciones de los RNP por rutas con el GR4 _____ 108
Tabla A. 66 p-valor de la diferencia de medias entre los RNP de la prueba piloto y los de recorridos simulados con el GR4 _____ 109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicaciones del garaje original y los clientes _____ 8

Figura 2 Diagrama de flujo de la ruta 1 _____ 9

Figura 3 Diagrama de flujo de la ruta 2 _____ 10

Figura 4 Diagrama de flujo de la ruta 3 _____ 10

Figura 5 Diagrama de flujo de la ruta 4 _____ 11

Figura 6 Diagrama de flujo de la ruta 5 _____ 11

Figura 7 Métodos de solución para un problema de localización _____ 20

Figura 8 Tipos de simulación _____ 21

Figura 9 Interfaz de Arena _____ 24

Figura 10 Histograma del RNP1 en la ruta 1 (R1) _____ 31

Figura 11 Histograma del RNP2 en la ruta 1 (R1) _____ 32

Figura 12 Configuración del modelo de simulación I _____ 37

Figura 13 Modelo de simulación I con el garaje original _____ 38

Figura 14 Ubicaciones factibles para el nuevo garaje _____ 45

Figura 15 Histograma del RNP1 en R1 con GR1 _____ 49

Figura 16 Histograma del RNP2 en R1 con GR1 _____ 50

Figura 17 Modelo de simulación I adaptado con el garaje en la ubicación factible 1 _____ 52

Figura 18 Modelo de simulación I adaptado con el garaje en la ubicación factible 2 _____ 53

Figura 19 Modelo de simulación I adaptado con el garaje en la ubicación factible 3 _____ 53

Figura 20 Modelo de simulación I adaptado con el garaje en la ubicación factible 4 _____ 54

I. Introducción

Para las pequeñas empresas de transporte, la localización del establecimiento donde guardan sus vehículos es un factor decisivo para su éxito ya que deben desplazarse desde y hacia el garaje con mucha frecuencia, por lo que encontrar un lugar adecuado, es decir, cercano a los clientes, a los centros de abastecimiento y a los centros de mantenimiento constituye una necesidad para estas empresas.

Se cuenta con diversos métodos basados en modelos matemáticos para resolver los problemas de localización como el método de Brown & Gibson, punto de equilibrio, método de transporte, el método del centro de gravedad, el método de los factores ponderado, el método de Weber, entre otros, Según Krajewsky, Ritzman y Malhotra (2008) existe otra clasificación la cual está conformada por los métodos heurísticos, de optimización y de simulación. A pesar de que la simulación se utiliza tradicionalmente para problemas de líneas de espera o para simular procesos, en la presente investigación se utiliza para la localización de una facilidad.

Los métodos de simulación permiten tener una visión más realista y entendible de un problema, además facilita una mayor interacción entre el analista y el usuario, pues evalúa las diferentes ubicaciones mediante la experimentación con modelos de simulación, hasta encontrar una solución satisfactoria, en este caso se usó para simular diversas ubicaciones para el nuevo garaje de la empresa.

El sistema en estudio es una empresa privada de transporte de personal en el departamento de Ica, cuyo nombre no se menciona por cuestiones de confidencialidad. El propósito de la investigación es determinar la mejor ubicación de un nuevo garaje tal que disminuya los costos variables de los recorridos no productivos de los vehículos, al iniciar y retornar de sus servicios.

La metodología usada fue en primer lugar construir el modelo de simulación del proceso de atención de los servicios por rutas con el garaje en la ubicación original, para poder entender mejor su funcionamiento, después el Gerente de Operaciones y Logística identificó seis ubicaciones posibles, de las cuales el Directorio descartó dos por cuestiones de costos elevados, se adaptó el modelo de simulación y se experimentó con las diferentes ubicaciones de garaje propuestas para estimar sus recorridos no productivos y costos estimados correspondientes, por último se seleccionó la ubicación que redujo los costos variables en mayor medida.

El principal resultado fue que la ubicación factible 2 disminuye los costos variables en 11.18%, a la vez que reduce las distancias recorridas desde el garaje al inicio de servicio y el consiguiente regreso.

La estructura del cuerpo del informe del Trabajo de Suficiencia Profesional (TSP) es la siguiente:

En el capítulo I se presenta la introducción, la cual contiene el contexto de las pequeñas empresas de transporte, el problema de localización de instalaciones a diferentes niveles, y la estructura del trabajo de investigación. Esto proporciona una base sólida para entender la problemática y la importancia del estudio.

En el capítulo II se presenta información detallada sobre el lugar donde se llevó a cabo la actividad, incluyendo datos puntuales de la institución, como su misión, visión, finalidad, objetivos y organigrama. Esto es fundamental para entender el contexto en el que se desarrolló el trabajo.

En el capítulo III se describe la actividad realizada, abordando varios aspectos importantes: el contexto de la organización, la finalidad del trabajo, los objetivos planteados, la problemática identificada, la justificación del trabajo, la metodología empleada, los

procedimientos seguidos y los resultados obtenidos. Esto proporciona una visión integral de la actividad desarrollada y su impacto.

En el capítulo IV y V, se presentan las conclusiones derivadas del trabajo realizado, destacando los hallazgos más significativos y su implicancia en el área de estudio. Además, se ofrecen recomendaciones basadas en las conclusiones obtenidas, con el propósito de mejorar futuras actividades similares y contribuir al desarrollo continuo de la institución.

En el capítulo VI y VII, se compilan todas las fuentes de información consultadas durante el desarrollo del TSP en la bibliografía, proporcionando una base sólida y fundamentada para el estudio. Asimismo, se incluyen anexos que apoyan y complementan el informe, tales como tablas, gráficos, y otros recursos relevantes.

II. Información del lugar donde se desarrolló la actividad

2.1. Institución dónde se desarrolló la actividad

El presente trabajo es elaborado en una institución, la cual cuenta con los siguientes datos:

Razón social: Grupo Venture SAC

RUC: 20494860229

Dirección: Jr. Luis Alva Maurtua Nro. 253, Chincha Alta, Ica

Código postal: 11701

Teléfono: 051 936804886

Web: https://grupoventure.com/nosotros/

Correo electrónico: venture.e@hotmail.com

Periodo de actividad: Desde enero hasta mayo del 2024.

Además de lo mencionado, es fundamental destacar que la empresa posee una declaración de misión, visión, finalidad y objetivos que orientan sus operaciones y decisiones estratégicas. Estas declaraciones representan los fundamentos sobre los cuales se basa la empresa para su funcionamiento y desarrollo a mediano y largo plazo.

La misión es “Ser una empresa comprometida con brindar un servicio en transporte de personal eficaz y eficientemente, de calidad y seguro, basado en un sistema de gestión por procesos, conductores altamente calificados y unidades vehiculares de vanguardia, a todo destino del Perú”.

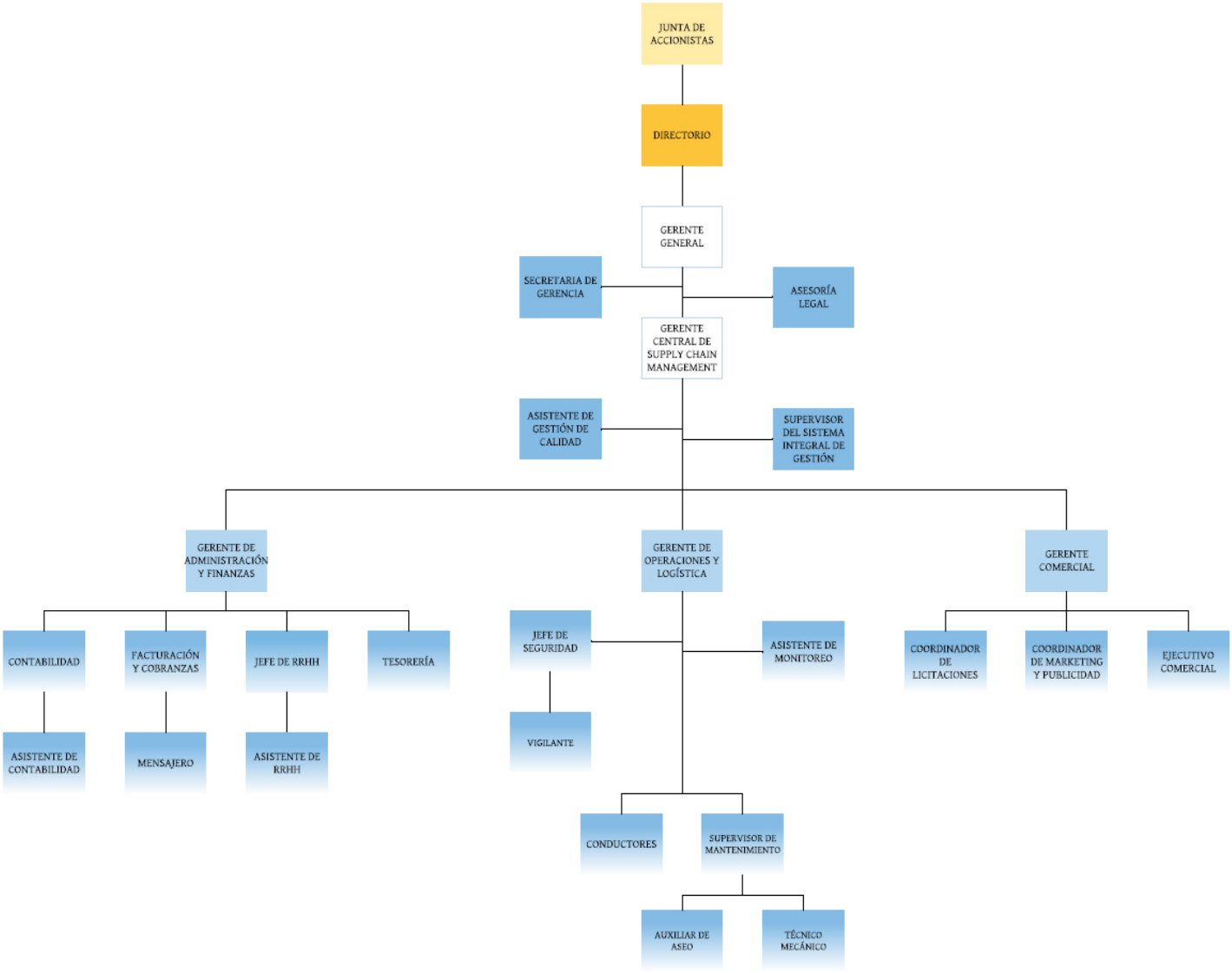
La visión es “Ser una de las mejores 50 opciones en servicio de transporte de personal a nivel nacional, dentro de 10 años, en base a la innovación de unidades y sistema organizacional, aprovechando las oportunidades para crecer ordenadamente”.

La finalidad es “Proporcionar un servicio de movilidad confiable, seguro y eficiente para satisfacer las necesidades de desplazamiento de los clientes locales y visitantes. Esforzarse por ser un socio confiable en la comunidad, ofreciendo soluciones de transporte que mejoren la calidad de vida y la comodidad de quienes confían para sus viajes diarios y eventos especiales”.

El objetivo principal es “Proporcionar un servicio de transporte personalizado que garantice la satisfacción del cliente, la seguridad en los desplazamientos y la eficiencia operativa. Para lograrlo, hay un compromiso de ofrecer un servicio excepcional al cliente, mantener altos estándares de seguridad a través de capacitación continua y mantenimiento adecuado de las unidades, optimizar la operación para maximizar la eficiencia en la planificación de rutas y contribuir al desarrollo sostenible de la región, para destacar como como líderes en el sector de transporte de personal a nivel regional y nacional”.

2.2. Organigrama

Para comprender mejor la estructura organizativa de la empresa, se presenta el organigrama que detalla las distintas áreas y sus interrelaciones. Esto nos permite tener una visión clara de cómo se distribuyen las responsabilidades y funciones dentro de la organización.


JUNTA DE ACCIONISTAS
DIRECTORIO
GERENTE GENERAL
SECRETARIA DE GERENCIA
ASESORÍA LEGAL
GERENTE CENTRAL DE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT
ASISTENTE DE GESTIÓN DE CALIDAD
SUPERVISOR DEL SISTEMA INTEGRAL DE GESTIÓN
GERENTE DE ADMINISTRACIÓN Y FINANZAS
GERENTE DE OPERACIONES Y LOGÍSTICA
GERENTE COMERCIAL
CONTABILIDAD
FACTURACIÓN Y COBRANZAS
JEFE DE RRHH
TESORERÍA
JEFE DE SEGURIDAD
ASISTENTE DE MONITOREO
COORDINADOR DE LICITACIONES
COORDINADOR DE MARKETING Y PUBLICIDAD
EJECUTIVO COMERCIAL
ASISTENTE DE CONTABILIDAD
MENSAJERO
ASISTENTE DE RRHH
VIGILANTE
CONDUCTORES
SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO
AUXILIAR DE ASEO
TÉCNICO MECÁNICO

III. Descripción de la actividad

3.1. Organización de la actividad

El trabajo se realiza en una pequeña empresa privada de transporte de personal, la cual tiene diez años de funcionamiento en el departamento de Ica, cuenta con cinco vehículos y seis conductores siendo que cada conductor puede ser asignado a cualquiera de los vehículos. Cabe señalar que no se ha considerado diferencia entre los vehículos pues todos tienen características similares (año de fabricación, marca, modelo y rendimiento).

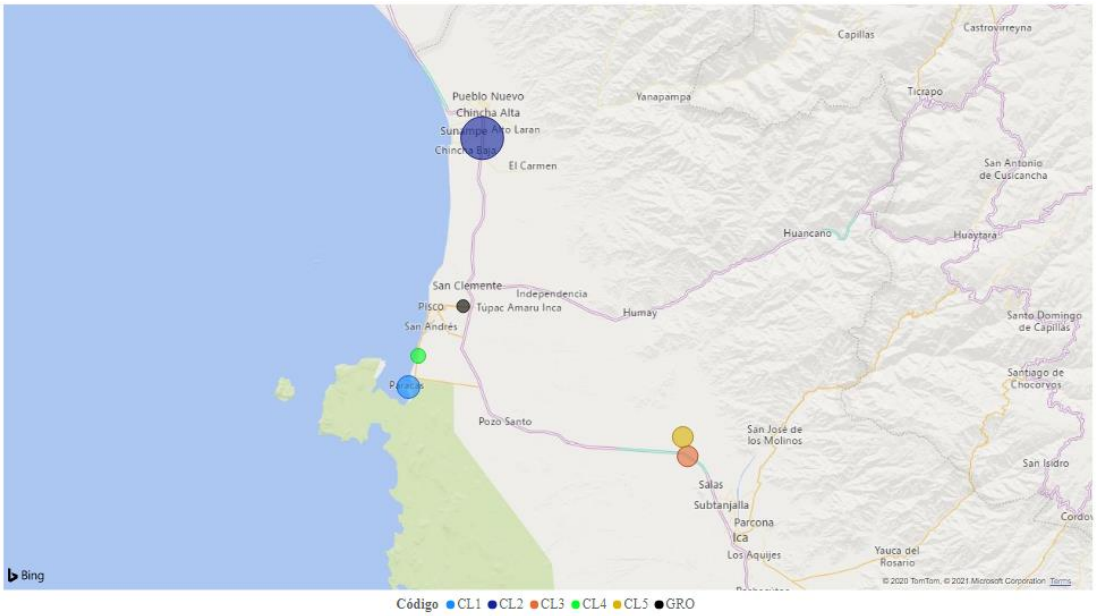
La empresa cuenta con un garaje alquilado, denominado garaje original (GRO), trabaja con cinco clientes ubicados a lo largo de Ica, los cuales solicitan mensualmente cierta cantidad de servicios, como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1 *Ubicaciones y frecuencia de servicios mensuales de los clientes*

Lugar	Código	Latitud	Longitud	Frecuencia de servicios mensuales
Cliente 1	CL1	-13.836367	-76.253537	500
Cliente 2	CL2	-13.452082	-76.136342	1500
Cliente 3	CL3	-13.943206	-75.809816	400
Cliente 4	CL4	-13.788309	-76.237994	100
Cliente 5	CL5	-13.913403	-75.817508	400

Para una mejor visualización, se muestra la distancia que se extiende a los puntos de inicio y fin de servicios, así como las frecuencias de servicios mensuales representadas por el tamaño de los círculos que rodean las ubicaciones. En la Figura 1, se puede observar que los clientes están alejados del garaje en su ubicación original.

Figura 1 Ubicaciones del garaje original y los clientes



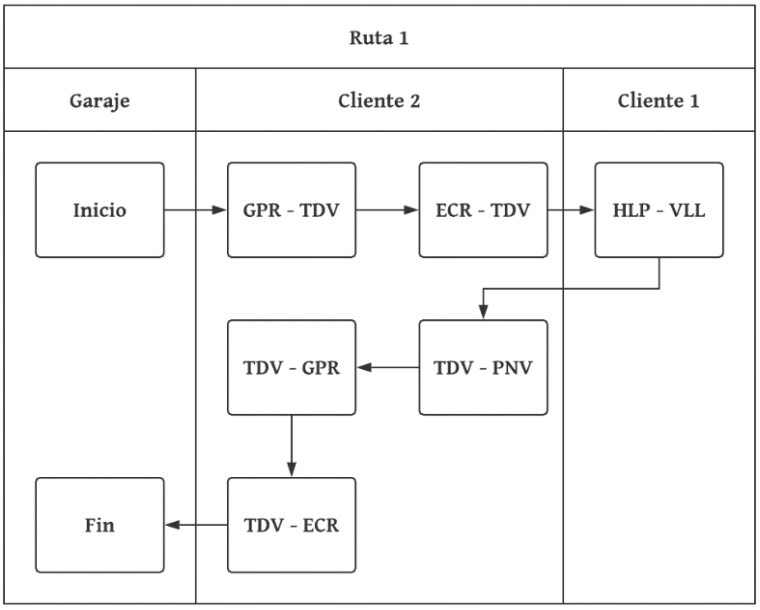
Cada cliente tiene sus propios puntos de inicio y fin de servicio, los cuales se detallan en la Tabla 2, asimismo se observa que el Cliente 2 cuenta con más puntos y quien solicita más servicios.

Tabla 2 *Ubicaciones de inicio y fin de servicios por clientes*

Cliente que solicita servicio	Puntos de servicio	Latitud	Longitud
Cliente 1	HLP	-13.836367	-76.253537
Cliente 1	VLL	-13.713573	-76.153402
Cliente 2	GPR	-13.398036	-76.156445
Cliente 2	CES	-13.423727	-76.139518
Cliente 2	CBL	-13.428593	-76.119520
Cliente 2	ECR	-13.499977	-76.057875
Cliente 2	PNV	-13.398237	-76.127962
Cliente 3	SCL	-13.681290	-76.158998
Cliente 4	AMC	-13.711327	-76.194358
Cliente 5	ACH	-13.913403	-75.817508

Los servicios no son de tipo ida y vuelta, sino que conforman rutas que incluyen varios servicios en secuencia, en total se han identificado cinco rutas, las cuales se muestran en las siguientes figuras.

Figura 2 *Diagrama de flujo de la ruta 1*



En la Figura 2 se observa que el vehículo con la ruta 1 parte del garaje original con rumbo a realizar el servicio del punto GPR al TDV. De allí, se traslada a ECR (observar que en el tramo TDV a ECR el vehículo va vacío, pero no se considera recorrido no productivo pues es independiente de la ubicación del garaje) y a los siguientes puntos en el orden mostrado. Después, el vehículo vuelve al garaje hasta el día siguiente. Algo semejante sucede con las demás rutas, mostradas en la Figura 3, Figura 4, Figura 5 y Figura 6.

Figura 3 *Diagrama de flujo de la ruta 2*

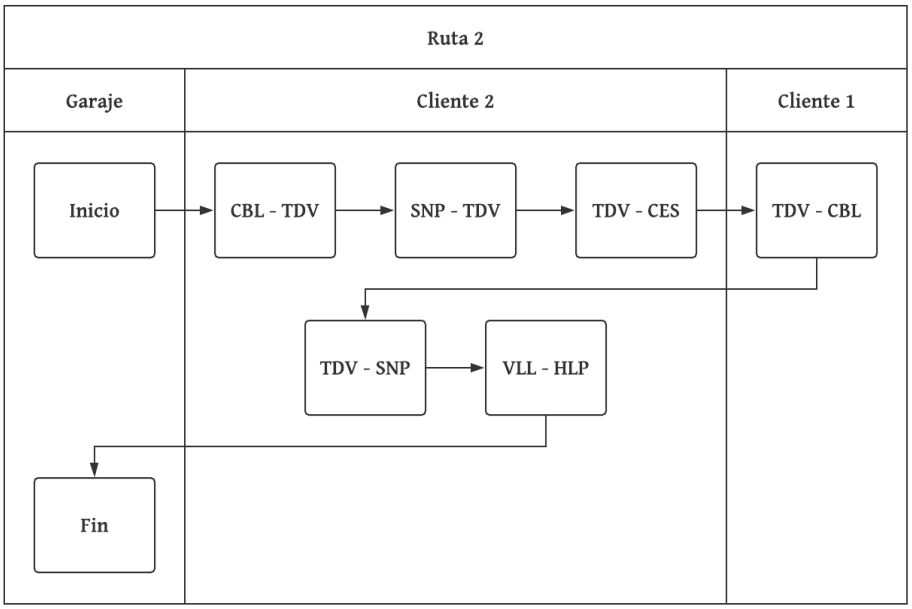


Figura 4 *Diagrama de flujo de la ruta 3*

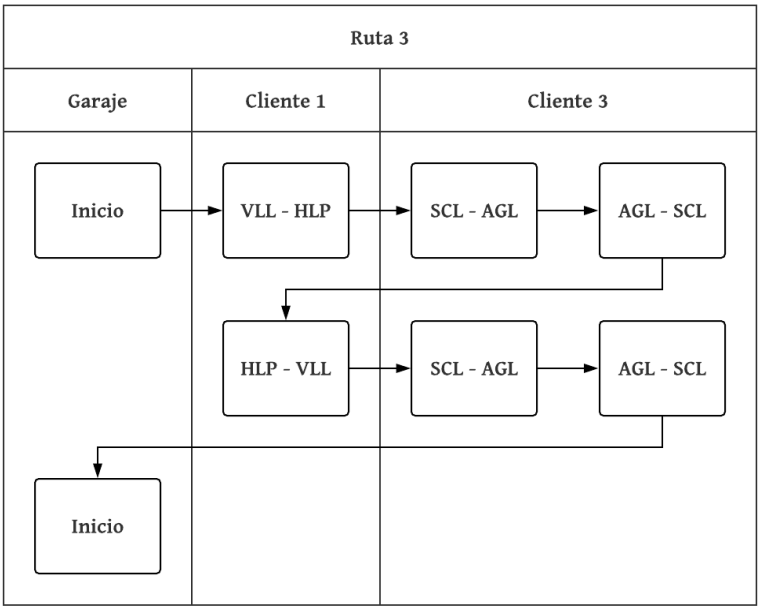


Figura 5 *Diagrama de flujo de la ruta 4*

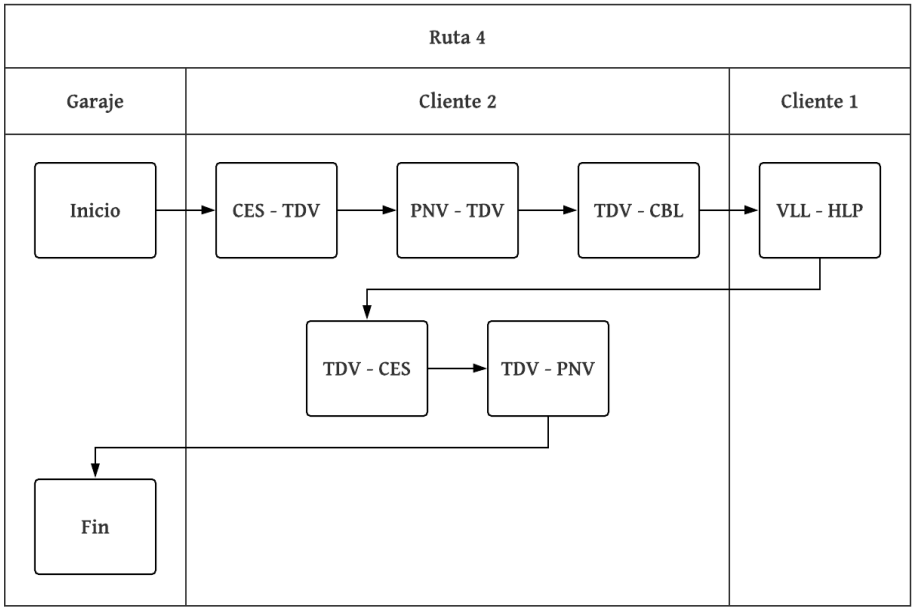
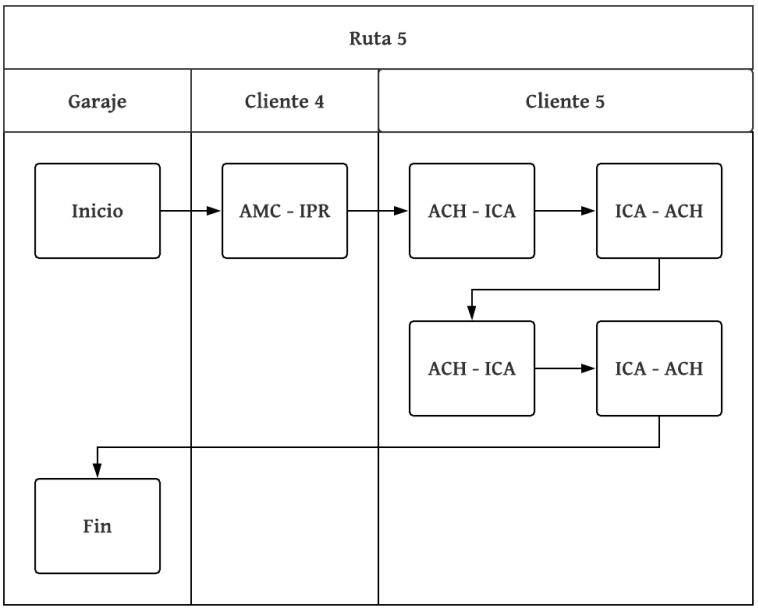


Figura 6 *Diagrama de flujo de la ruta 5*



Los vehículos son similares e intercambiables, en la Tabla 3 se presentan las asignaciones de estos durante los cuatro meses en estudio. Se tiene que mencionar que al calcular las distancias recorridas se ha considerado un promedio de la información encontrada en la base de datos de la empresa.

Tabla 3 *Ruta por vehículo y mes*

	Vehículo 1	Vehículo 2	Vehículo 3	Vehículo 4	Vehículo 5
Mes 1	Ruta 1	Ruta 4	Ruta 5	Ruta 2	Ruta 3
Mes 2	Ruta 2	Ruta 3	Ruta 1	Ruta 4	Ruta 5
Mes 3	Ruta 3	Ruta 1	Ruta 4	Ruta 5	Ruta 2
Mes 4	Ruta 2	Ruta 3	Ruta 1	Ruta 4	Ruta 5

3.2. Finalidad

Presentar una propuesta ejecutiva al Directorio para identificar la mejor ubicación del nuevo garaje de la empresa de transporte de personal en Ica, Perú. Basándose en un análisis exhaustivo de las locaciones disponibles y en la reducción de los costos variables, aplicando herramientas de Investigación Operativa.

3.3. Objetivos

3.3.1. Objetivo general

Determinar una ubicación para el nuevo garaje de una empresa privada de transporte de personal en Ica – Perú que disminuya en la mayor medida de lo posible los costos variables, a partir de la simulación de diversas ubicaciones.

3.3.2. Objetivos específicos

1. Construir el modelo de simulación I que refleje el recorrido no productivo, con el garaje en la ubicación original.
2. Calcular los costos promedios mensuales que generan los recorridos no productivos de los vehículos desde el garaje original al inicio de servicio y su correspondiente retorno, considerando el modelo I, para determinar la magnitud del problema.
3. Identificar ubicaciones factibles para el nuevo garaje.

4. Calcular los costos promedio mensuales que generan los recorridos no productivos simulando las diversas ubicaciones factibles a fin de encontrar la ubicación del nuevo garaje que disminuya en más de 10% el costo del modelo I.

3.4. Problemática

La localización óptima de instalaciones es un desafío crítico para las empresas a nivel mundial, ya que una ubicación adecuada puede significar la diferencia entre la eficiencia operativa y el aumento de costos innecesarios. Estudios recientes han demostrado que una mala elección en la localización puede incrementar significativamente los costos operativos, afectar la eficiencia logística y disminuir la satisfacción del cliente.

En el contexto de Perú, la problemática de la localización es particularmente relevante debido a las variaciones geográficas y la infraestructura de transporte desigual que pueden afectar la accesibilidad y el costo de operaciones.

En regiones específicas como Ica, las empresas enfrentan desafíos adicionales relacionados con la dispersión geográfica de sus clientes y la necesidad de optimizar las rutas para minimizar los costos de transporte y el desgaste de los vehículos.

Para las pequeñas empresas, estos problemas se amplifican debido a recursos limitados y la necesidad de maximizar la eficiencia con presupuestos ajustados. Por lo tanto, la correcta ubicación de instalaciones como garajes y centros logísticos se vuelve vital para mantener la competitividad y la sostenibilidad financiera.

En contexto, el garaje de la empresa es un local alquilado y ubicado de forma conveniente para un cliente, dado que inicialmente sólo se realizaban servicios para éste, pero luego aumentó el número de clientes por lo cual los servicios inician y/o terminan en lugares alejados del local de garaje. Debido a esto se incurre en excesos de costos variables como son el combustible y el deterioro de los vehículos, cuando realizan recorridos no productivos, es

decir, la distancia de traslado de los vehículos del garaje al inicio del primer servicio y el retorno desde el último punto del servicio hacia el garaje.

Dada la situación, la empresa decide que debe invertir en un garaje propio en un lugar más adecuado para dar servicio a todos los clientes. La empresa desea encontrar una ubicación para el nuevo garaje que disminuya los costos variables en la mayor medida y acorte las distancias de recorrido no productivo de los vehículos.

Cabe resaltar que la flota de vehículos es suficiente para cubrir la demanda, pero se incurrían en retrasos en los inicios y/o retornos de los servicios.

Se plantearon las siguientes interrogantes:

3.4.1. Problema General

¿Cuál es la ubicación para el nuevo garaje de una empresa privada de transporte de personal en Ica – Perú que disminuya en la mayor medida posible los costos variables, a partir de la simulación de diversas ubicaciones?

3.4.2. Problemas Específicos

1. ¿Cómo construir el modelo de simulación I, que refleje el recorrido no productivo con el garaje en la ubicación original?
2. ¿Cuáles son los costos promedios mensuales que generan los recorridos no productivos de los vehículos desde el garaje original al inicio de servicio y su correspondiente retorno considerando el modelo I?
3. ¿Cuáles son las ubicaciones factibles para el nuevo garaje?
4. ¿Cuáles son los costos promedios mensuales que generan los recorridos no productivos simulando las diversas ubicaciones factibles a fin de encontrar la ubicación del nuevo garaje que disminuya en más de 10% el costo del modelo I?

3.5. Justificación

3.5.1. Justificación teórica

En el presente trabajo se utiliza como herramienta la simulación de sistemas discretos para resolver el problema de localización, debido a que es una técnica de modelado que representa el comportamiento de algún sistema. La investigación permite evaluar el sistema con el garaje en la ubicación original y compararlo con las diversas ubicaciones propuestas de la empresa teniendo una visión más realista, más entendible y obteniendo una mayor participación de los decisores. Además, da la posibilidad de experimentar sin consecuencias, evitando costos de inversión o alquileres y reduciendo riesgos de pérdida de servicios.

3.5.2. Justificación práctica

La presente investigación se realiza porque existe la necesidad de disminuir los costos variables en que incurre la empresa privada de transporte de personal. Con el uso de un modelo de localización y aplicando simulación de sistemas, se encuentra una ubicación de garaje que disminuye en la mayor medida dichos costos. Al hacer suya la propuesta, la empresa implementa un método de innovación para solucionar problemas, con lo que propicia el logro del ODS 9: Industria, innovación e infraestructuras, específicamente la meta 3 sobre aumentar el acceso de las pequeñas industrias y otras empresas en los mercados de los países en desarrollo. Además, realiza recorridos no productivos más cortos, por lo que se reduce en alguna medida la contaminación ambiental. Con esto, se apoya el logro del ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles, específicamente la meta 6 acerca de reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades.

3.5.3. Justificación metodológica

La investigación sirve como base para otros estudios y de apoyo para la realización de trabajos basados en modelos de localización usando la simulación de sistemas, pues se

desarrolla con un enfoque sistémico y de manera integral, cabe recalcar que los estudios que usan simulación en la literatura se orientan mayormente a procesos no a problemas de localización. Además, el método es amigable a fin de que el Directorio incorpore a la Investigación Operativa como herramienta para resolver otros problemas, pues los decisores comprenden el proceso de experimentación mediante software.

3.6. Metodología y Procedimientos

3.6.1. Tipo de investigación

El trabajo se clasifica como una investigación de tipo básica, debido a que el objetivo principal es generar nuevo conocimiento sin enfocarse en una aplicación práctica inmediata. Específicamente, resolver un problema de localización mediante simulación, contribuyendo al conocimiento académico limitado sobre el tema y proporcionando una base para futuros estudios.

3.6.2. Nivel o Alcance

El estudio se clasifica como una investigación proyectiva dado que busca resolver un problema práctico de localización mediante la elaboración de una propuesta innovadora y modelos de simulación, basados en un diagnóstico preciso de las necesidades actuales, procesos explicativos y tendencias.

3.6.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es experimental, porque se aplica mediante la manipulación controlada de variables, utilizando simulaciones para evaluar las diferentes ubicaciones del nuevo garaje, con el fin de obtener datos sobre los recorridos no productivos asociados a cada ubicación.

3.6.4. Variable

La variable dependiente es una característica observada y medida en un estudio que se presume que puede ser influenciada por otras variables. En la investigación, son los recorridos no productivos totales (RNPT), debido a que se espera que su cantidad varíe según la ubicación del garaje.

La variable independiente es una característica o condición manipulada o controlada en un estudio experimental, que se cree que puede tener un efecto sobre la variable dependiente. En la investigación, es la ubicación del garaje, porque se manipula para evaluar su impacto en la cantidad de recorridos no productivos.

La relación entre las variables independiente y dependiente es que la ubicación del garaje se manipula o controla en el estudio experimental para evaluar su efecto sobre la cantidad de recorridos no productivos totales (RNPT). Se espera que la ubicación del garaje influya en la cantidad de recorridos no productivos, lo que establece una relación causal entre ambas variables.

3.6.5. Técnica e instrumentos de recolección de información

La fuente es secundaria, ya que la información fue obtenida de la base de datos de la empresa de transporte. Se encontró cada servicio detallado, señalando la fecha, el monitorista, el turno, el vehículo, el conductor, el cliente, el punto y hora de inicio y fin, el kilometraje cuando sale del garaje, cuando inicia y finaliza, y el retraso de cada servicio. Además, se solicitó las direcciones exactas del garaje original, los clientes y sus puntos de inicio y fin. Los datos se obtuvieron con el permiso del Directorio, pero por motivos de confidencialidad se codificó.

La información fue procesada mediante diversas técnicas:

- Estadísticas descriptivas para recoger, almacenar, ordenar, realizar tablas, figuras y calcular parámetros básicos de los servicios registrados en la base de datos de la empresa. Se utilizó el programa Excel y la herramienta Power BI, con el fin de tener una mejor visualización.

- Estadística inferencial para determinar si las rutas conforman grupos homogéneos con respecto a los recorridos mensuales promedios y a los costos unitarios promedios; se utilizó el software Minitab 19 (versión gratuita). Asimismo, se hizo pruebas de bondad de ajuste para estimar las distribuciones de probabilidad de los recorridos necesarios y recorridos no productivos; para esto, se utilizó la herramienta Input Analyzer del software Arena 16 (versión para estudiantes).

En busca de determinar las rutas de los vehículos, la frecuencia de servicios por ruta, el recorrido total y los recorridos no productivos, se extrajo de la base de datos los siguientes campos (en el Anexo 1 se muestra el detalle de la información): La fecha de los servicios por ruta, el código de la ruta realizada de cada servicio por ruta, el recorrido necesario de los servicios por rutas, el recorrido no productivo inicial y final de cada servicio por ruta y el recorrido total de los servicios por ruta.

3.6.6. Metodología

a. Localización de instalaciones

"La estrategia de localización de una instalación puede influir significativamente en los costos operativos y en la capacidad de la empresa para alcanzar sus objetivos comerciales" (Lumen Learning, 2023, p. 215).

Por lo que se puede entender que la localización de instalaciones es una decisión de gran importancia pues es dónde se realizarán las operaciones de la empresa. A pesar de que sea una decisión poco frecuente para estas, tiene una gran repercusión por lo que debe ser

un punto de atención y consideración de la dirección. Habitualmente en los problemas de localización se debe elegir las instalaciones entre múltiples ubicaciones, donde se tienen diversos criterios como los costos, la rentabilidad, los tiempos de respuesta, las distancias entre los clientes, la empresa y los proveedores, el mercado y su competencia.

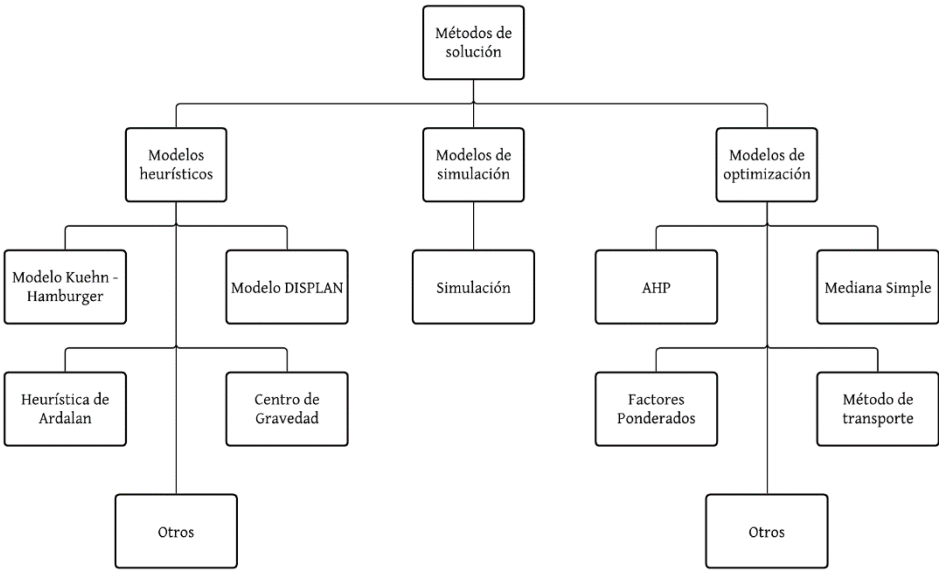
La relevancia radica principalmente en dos razones, la primera es que requieren de una gran inversión, es decir, el estancamiento de recursos financieros a largo plazo, y la segunda razón es la relevancia pues es una decisión que afecta todo el funcionamiento de la empresa.

A Krajewsky, Ritzman y Malhotra (2008) afirman que:

> Muchos problemas que requieren análisis de localización son todavía más complejos que los descritos hasta aquí. Frente a tal grado de complejidad, es necesario usar una computadora para realizar una evaluación completa. Para este propósito se han desarrollado tres tipos básicos de modelos de computadora: (1) heurísticos; (2) de simulación, y (3) de optimización. (p.444)

Donde los modelos heurísticos son aquellos que siguen un algoritmo paso a paso, tienen como ventajas la eficiencia y la capacidad de manejar los aspectos generales de los problemas, por otra parte, los modelos de optimización buscan la mejor solución posible pero tienen como desventaja una limitada visión, para finalizar los modelos de simulación son aquellos que reproducen el comportamiento de un sistema, permiten al analista evaluar distintas alternativas de ubicación para la instalación sin riesgo, además proveen una visión más realista del problema pues consideran todo el sistema con una mayor participación de los decisores, como se puede ver en la Figura 7, donde se muestran los métodos de solución según la clasificación anteriormente mencionada.

Figura 7 *Métodos de solución para un problema de localización*



Nota. Basado en la clasificación de otros métodos según Krajewsky, Ritzman y Malhotra, 2008.

En la presente investigación se utiliza el método de simulación por lo cual se presentan los conceptos esenciales de dicho enfoque.

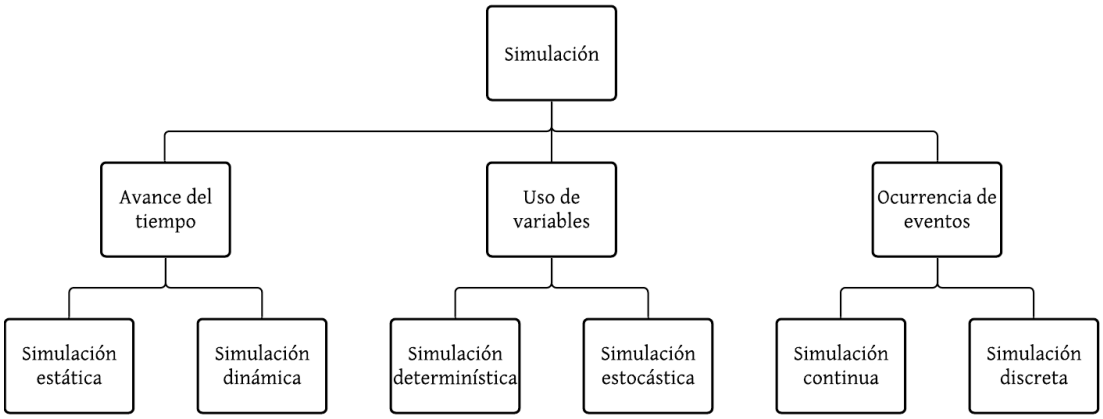
b. Simulación de Sistemas

"Modelar y simular sistemas reales permite realizar experimentos controlados y predecir su comportamiento en diferentes escenarios." (Springer, 2023). Por tanto, se puede definir la simulación de sistemas como el proceso que consiste en diseñar un modelo, reproducir su comportamiento operacional y dinámico, para poder analizarlo y probar algunos cambios, además de tener un mayor respaldo de conocimiento en las tomas de decisiones. Una de las ventajas que sale a relucir sobre la simulación es que puede evaluar su desempeño, aunque su grado de complejidad sea alto, generando un escenario virtual donde los cambios no tienen algún costo o peligro para el sistema, además se debe mencionar que evalúa y aunque no se obtiene soluciones óptimas, es una herramienta que orienta al sistema hacia una mejor solución.

Hay distintos enfoques para tipificar la simulación, según Torres (2016) se pueden dividir en simulación basada en el avance del tiempo (simulación estática y dinámica), simulación basada en el uso de variables (simulación determinística y estocástica), y la simulación basada en la continuidad de la ocurrencia de eventos (simulación discreta y continua) (págs. 27-29). Como se puede ver en la Figura 8, la simulación estática representa al sistema en un instante específico del tiempo, también es conocida como simulación de Monte Carlo, por otra parte, la simulación dinámica considera el paso del tiempo pues las variables son actualizadas a lo largo de este. Además, la simulación determinística tiene entradas y salidas constantes, no posee aleatoriedad, en cambio la simulación estocástica se basa en una o más variable con naturaleza aleatoria, tanto en entradas como salidas. También, la simulación continua se da cuando las variables cambian continuamente en el tiempo, al contrario, la simulación discreta es aquella que se da en puntos discretos del tiempo, es decir, que existe un intervalo de tiempo variable entre la ocurrencia de eventos.

Cabe recalcar que en el presente trabajo de investigación se tendrá en cuenta las simulaciones del tipo discreta.

Figura 8 *Tipos de simulación*



Nota. Basado en la división de la simulación por Torres, 2016.

Al adaptar la construcción de un modelo de simulación para resolver un problema de localización, algunos pasos varían un poco con respecto a la anterior definición de ellos.

- Definición del problema: Se determina para qué se quiere realizar la simulación, tiene que quedar claro que cada escenario será una posible ubicación para establecer una o algunas instalaciones de una empresa.

- Planificación del proyecto: Identificación de los recursos humanos y tecnológicos necesarios para la investigación.

- Definición del sistema: Delimitar el sistema de la simulación, debe quedar claro el lugar para evaluar la o las ubicaciones para las nuevas instalaciones. Por ejemplo: Un distrito, provincia, departamento o país.

- Formulación de modelos conceptuales: Se desarrolla el diagrama de flujo del sistema considerando los procesos más relevantes para el estudio.

- Diseño experimental preliminar: Identificación de la variable de resultados donde se medirá la eficacia del modelo de simulación para cada posible ubicación de la o las nuevas instalaciones.

- Preparación de datos de entrada: Recolección de la información necesaria para el modelo de simulación, tanto sobre la ubicación original como de las posibles ubicaciones.

- Traducción del modelo: Construcción del primer esbozo del modelo de simulación con la ubicación original de la instalación.

- Verificación y validación: Se verifica que el funcionamiento del modelo de simulación corresponda a la situación real, comparando la base de datos con los resultados

estimados por el modelo, frecuentemente se realiza un juicio de expertos o una prueba de hipótesis, pero también se pueden optar por otros métodos.

- Diseño experimental final: Una vez realizada las correcciones del paso anterior, resulta el modelo final del sistema.

- Experimentación: Ejecución y construcción de los modelos de simulación adaptados para cada posible ubicación de la nueva instalación, donde se obtienen las variables de resultado estimadas para cada escenario.

- Análisis e interpretación: Interpretación de los resultados, para luego realizar un análisis de sensibilidad de estos.

- Implementación y documentación: Se realiza el informe ejecutivo de los resultados obtenidos para las distintas ubicaciones posibles de la nueva instalación, además si se cuenta con la aprobación de la dirección se procede a implementar el modelo en la vida real, es decir, alquilar o comprar la o las instalaciones en las ubicaciones proporcionadas por este.

Para traducir el modelo de simulación se puede construir un programa computacional, pero ya existen softwares de simulación que facilitan el análisis de los modelos, como el que se describe a continuación.

- **Software Arena 16.0**

Arena es un potente software de modelado para simular procesos en diferentes áreas de negocios.

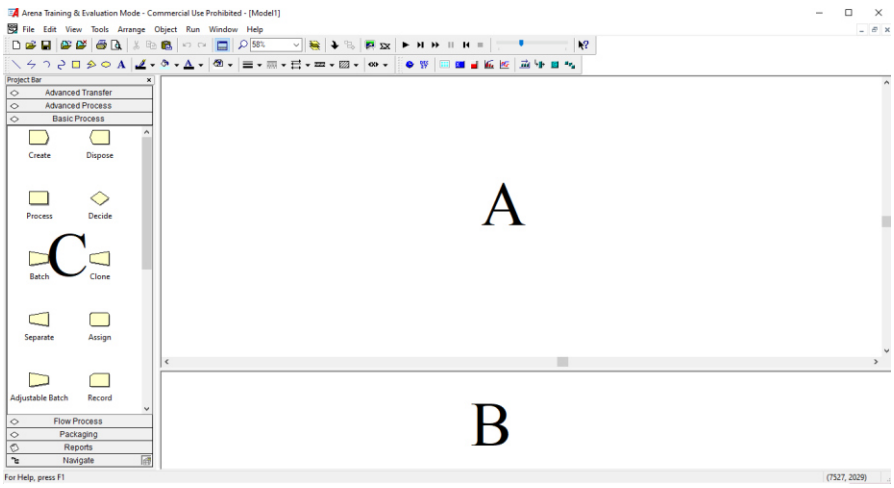
"Con Arena, las empresas pueden experimentar con diferentes estrategias logísticas para reducir costos y mejorar la eficiencia, representando con precisión los procesos del mundo real y sus interacciones." (Rockwell Automation, 2023, p. 20).

Por lo que en el software Arena se construyen modelos de simulación para experimentar, mediante módulos que representan los procesos o lógicas, las líneas se usan para unirlos y especificar el flujo de las entidades a lo largo del proceso en el modelo simulado. Arena permite modelar procesos, definir y comunicar los resultados y avances obtenidos, simular el futuro del sistema para un mejor entendimiento, buscar la mejora continua, visualizar los procesos del sistema de una forma dinámica, y analizar el sistema bajo distintas modificaciones (evaluación por escenarios).

El software Arena es un simulador didáctico e intuitivo pues su programación está basada en colocar y unir gráficos de diferentes módulos de proceso.

Como podemos ver en la Figura 9, según Pineda (2015) el entorno de modelado de Arena se puede dividir en tres partes:

Figura 9 *Interfaz de Arena*



Nota. Basada en Pineda, 2015.

- Ventana del diagrama de flujo del modelo: En este lugar donde se construyen los diagramas de los modelos de simulación, además se observan los elementos gráficos y animaciones.

- Ventana de hoja de cálculo: En este lugar se pueden modificar los parámetros de las entidades y procesos.

- Barra de Proyectos: Este lugar tiene varios paneles despegables que permiten diseñar el modelo de simulación pues contienen los módulos del modelo y el panel de navegación de la ventana del diagrama del flujo (parte A).

Otra sección importante del software, son los analizadores de datos, tanto de entrada como de salida, que tienen las más comunes técnicas de tratamiento de datos como la comparación de medias, comparación de varianzas, histogramas, entre otros (Pineda, 2015). En específico, el Input Analyzer permite determinar el ajuste adecuado de distribuciones de probabilidad para un conjunto de datos, probando una serie de distribuciones y escogiendo la de menor error cuadrático medio.

c. Términos y definiciones

A continuación, se presentan los conceptos más relevantes de la investigación:

- Directorio: Es el grupo de personas responsables de administrar la empresa de servicios de transporte por áreas.

- Servicio: Se considera como tal la acción de trasladar un grupo de personas de un lugar a otro mediante un vehículo de la empresa, garantizando la comodidad y seguridad del viaje. En promedio, se realizan veintinueve servicios durante el día para todos los clientes.

- Servicio por ruta: Está conformado por todos los servicios que realiza un solo vehículo durante todo el día; se efectúa uno por cada ruta.

- Recorrido no productivo (RNP): Es la distancia recorrida de los vehículos en kilómetros al inicio y al final de los servicios por ruta.

- Recorrido no productivo necesario: Es el trayecto de los vehículos en kilómetros que deben recorrer al finalizar un servicio e iniciar otro, debido a que dentro de las rutas hay traslados en que los vehículos se encuentran vacíos.

- Recorrido necesario (RN): Es la distancia recorrida del vehículo en kilómetros para cumplir los servicios por ruta. Esto incluye a los recorridos por cada servicio y los recorridos no productivos necesarios.

- Recorrido total (RT): Es la suma de los recorridos no productivos (RNP) más los recorridos necesarios (RN) de los servicios para cada ruta.

- Costo variable: Son aquellos costos (en soles) generados por los recorridos no productivos. Cabe señalar que no se tomará en cuenta la depreciación de los vehículos de la empresa.

- Costo operativo: Son los costos variables más los costos de alquiler o construcción (en soles) que se pueden generar por la adquisición del nuevo garaje.

- Costo Unitario de Combustible (CU): Son los costos de combustible (en soles) con respecto a los recorridos totales de los vehículos (en kilómetros); se calcularon para los servicios de cada ruta.

- Retraso: Es el tiempo extra (en minutos) de los vehículos con respecto de la hora programada de llegada al punto de inicio y/o fin por cada servicio para los diferentes clientes.

- Ubicación original: Es el lugar donde se encontraba el garaje de la empresa al iniciar la presente investigación (en coordenadas geográficas latitud y longitud).

- Ubicación posible: Se consideran los lugares donde se puede establecer el nuevo garaje según el Gerente de Operaciones y Logística, en el departamento de Ica (en coordenadas geográficas latitud y longitud).

- Ubicación factible: Se consideran los lugares donde resulta factible situar el nuevo garaje, según la evaluación de ciertos criterios del Directorio de la empresa (en coordenadas geográficas latitud y longitud).

- Matriz de distancias: Es aquella matriz de 3 filas por 11 columnas que refleja las distancias en kilómetros entre las ubicaciones para el nuevo garaje (incluyendo la ubicación original), con respecto a los puntos de inicio y fin de los servicios para ruta.

3.6.7. Procedimiento:

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

- Construir el modelo de simulación I que refleje el recorrido no productivo, con el garaje en la ubicación original con su correspondiente validación.

- Calcular los costos promedios mensuales que generan los recorridos no productivos de los vehículos desde el garaje original al inicio de servicio y su correspondiente retorno, considerando el modelo I, para determinar la magnitud del problema.

- Identificar ubicaciones factibles para el nuevo garaje.

- Calcular los costos promedios mensuales que generan los recorridos no productivos, simulándolos no con el garaje en la posición original sino en las diversas ubicaciones factibles, para encontrar la ubicación del nuevo garaje que disminuye en mayor porcentaje el del modelo I.

Detallando cada actividad, se tiene:

a. Simulación de los recorridos no productivos con el garaje original

Determinar las distancias del garaje original a los puntos de inicio y fin del servicio a los clientes extraídos de la base de datos, para calcular los recorridos no productivos.

Analizar los recorridos no productivos y los recorridos totales de los servicios por rutas.

Realizar pruebas de bondad de ajuste para estimar las distribuciones de probabilidad de los recorridos no productivos por rutas.

Construir el modelo de simulación I en el software Arena.

Validar el modelo de simulación I mediante la comparación del recorrido total real con el simulado.

Calcular el recorrido no productivo total con el garaje en la posición inicial.

b. Costos de los recorridos no productivos con el modelo I

Se experimentó con el modelo de simulación I, para calcular los costos promedios mensuales generados por los recorridos no productivos de los vehículos por rutas.

c. Identificación de las ubicaciones factibles

Solicitar al Gerente de Operaciones y Logística (GOL) la lista de posibles ubicaciones para el nuevo garaje en el departamento de Ica.

Identificar con el GOL los criterios relevantes de la ubicación del nuevo garaje.

Realizar reuniones con el Directorio para analizar la lista de posibles ubicaciones y seleccionar las n ubicaciones factibles teniendo como referencia los criterios preestablecidos.

Calcular las distancias de los garajes factibles a los puntos de inicio y fin del servicio a los clientes.

d. Simulación de los recorridos no productivos con los garajes factibles

Adaptar el modelo de simulación I a las n ubicaciones factibles para el nuevo garaje, cambiando la matriz de distancia. Se generó n modelos de simulación.

Experimentar con cada modelo de simulación con el fin de calcular los recorridos no productivos para cada ubicación factible y calcular los costos promedios mensuales correspondientes.

Comparar los n costos estimados en las diversas ubicaciones factibles y seleccionar la de menor costo.

Elaborar y comunicar la propuesta al GOL.

3.7. Resultado de la actividad

Luego de realizar las actividades propuestas se obtuvieron los siguientes resultados.

3.7.1. Modelo de simulación I con el garaje original

En la Tabla 4 se muestra las distancias entre el garaje original y los 10 puntos donde se inicia o termina los servicios por ruta a los clientes. Como se puede observar las distancias varían entre 3.7 y 62 km.

Tabla 4 *Distancias del garaje original (GRO) a los puntos de inicio y fin de los servicios por ruta en kilómetros*

Garaje	Puntos de inicio					Puntos de fin				
	GPR	CBL	VLL	CES	AMC	ECR	HLP	SCL	PNV	ACH
GRO	43.1	40.9	4.3	38.1	3.7	42.9	20.6	7.8	40.4	62

Nota. Estas distancias han sido obtenidas mediante Google Maps.

En la Tabla 5 se muestran los recorridos no productivos iniciales y finales por rutas con el garaje original (GRO) según los datos de Google Maps.

Tabla 5 *Recorrido no productivo inicial y final según Google Maps en kilómetros*

Ruta	Recorrido no productivo inicial		Recorrido no productivo final		Recorrido no productivo total
R1	GRO→GRP	43.1	ECR→GRO	42.9	86
R2	GRO→CBL	40.9	HLP→GRO	20.6	61.5
R3	GRO→VLL	40.3	SCL→GRO	7.8	48.1
R4	GRO→CES	38.1	PNV→GRO	40.4	78.5
R5	GRO→AMC	3.7	ACH→GRO	62	65.7

El recorrido de la ruta 1 mostrado en la Figura 2 inicia en GRP y termina ECR. Por lo tanto, el recorrido no productivo de la ruta 1 es GRO→GRP y ECR→GRO; en el mejor de los casos será de 43.1 + 42.9 = 86 km por día. Sin embargo, los conductores no siempre usan la misma ruta y optan por algunos desvíos usando vías alternas (calles, jirones y/o avenidas auxiliares), ya sea por accidentes, congestiones u horas pico; en consecuencia, dado que los recorridos no son exactamente iguales, se ha realizado un estudio para determinar la distribución de probabilidad de los recorridos por rutas.

a. Análisis de los recorridos de los servicios por rutas

En la Tabla 6, se muestra el recorrido promedio diario por ruta obtenido de la base de datos del GPS de los vehículos con el garaje original. Se puede ver que el recorrido no productivo inicial y final de la ruta 1, si bien es 43.1 y 42.9 km en la realidad, se ha fijado en un promedio de 45.3 y 44.59 km respectivamente, esto debido al uso de vías alternas de los vehículos.

Tabla 6 *Recorrido promedio diario por ruta (con el GRO)*

Ruta	Recorrido necesario	Recorrido no productivo inicial	Recorrido no productivo final	Recorrido total
R1	207.87	45.30	44.59	297.77
R2	120.49	44.03	21.40	185.93
R3	372.21	5.91	11.61	389.72
R4	172.40	40.44	42.08	254.92
R5	185.93	5.37	64.71	256.01

b. Distribuciones de probabilidad de los recorridos no productivos

Para estimar la distribución de probabilidad que se ajuste más a las series de datos para los recorridos no productivos de las cinco rutas, se realizaron histogramas de frecuencias en Minitab, además se utilizó la herramienta Input Analyzer de Arena, para estimar las de menor error cuadrático medio y realizar las pruebas de bondad de ajuste.

Primero se estimó la distribución del recorrido no productivo inicial (RNP1) para la ruta 1.

Figura 10 *Histograma del RNP1 en la ruta 1 (R1)*

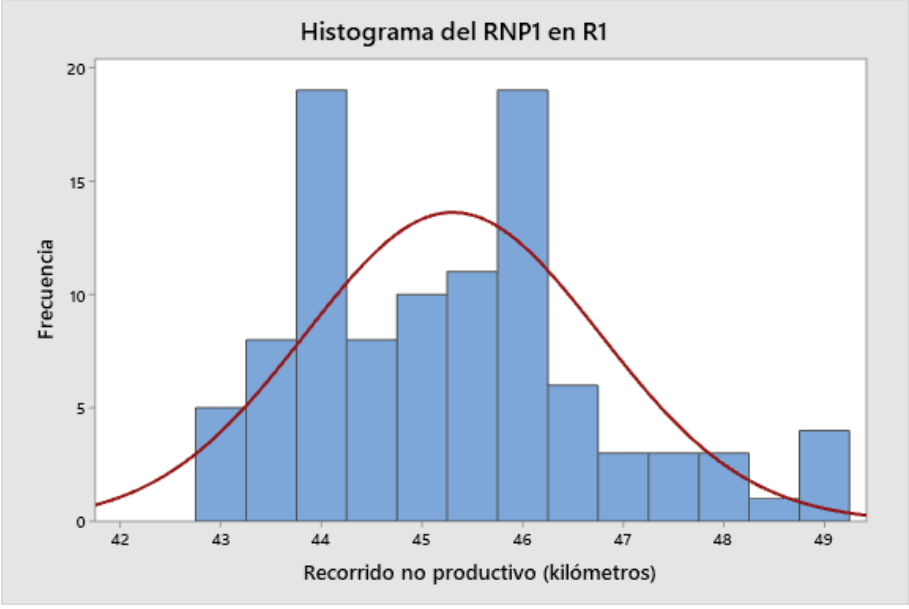


Tabla 7 *Distribución del RNP1 en R1 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(45.3, 1.46)
Error cuadrático medio:	0.0246
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.0938
p-valor correspondiente	> 0.15

Del histograma en la Figura 10 y la prueba de bondad de ajuste en la Tabla 7 se obtiene un $p > 0.15$, por lo que no se rechaza la hipótesis nula que indica que los datos tienen una distribución normal. Es decir, el RNP1 para R1 es una normal con media 45.3 y desviación estándar 1.46.

Luego se estimó la distribución del recorrido no productivo final (RNP2) para la ruta 1.

Figura 11 *Histograma del RNP2 en la ruta 1 (R1)*

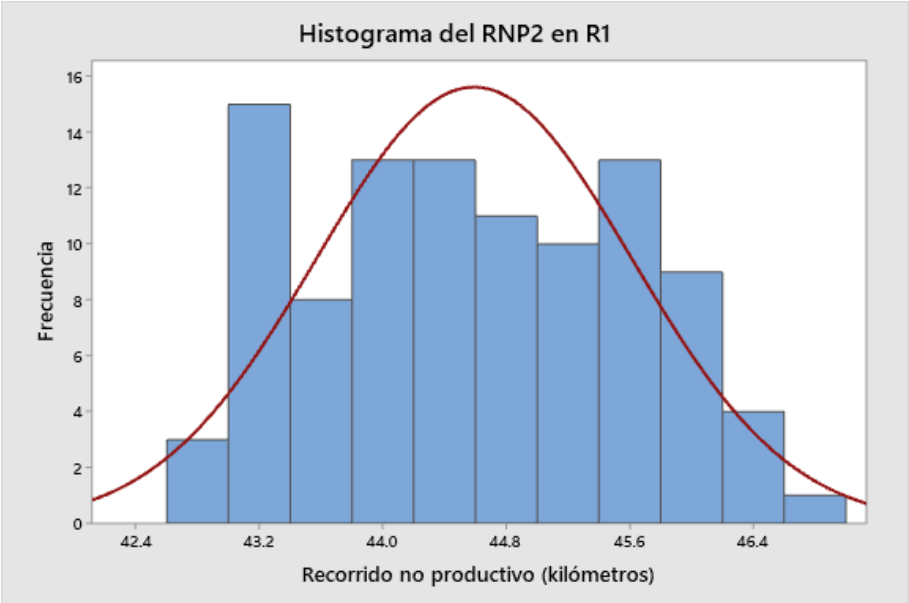


Tabla 8 *Distribución del RNP2 en R1 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(44.6, 1.02)
Error cuadrático medio:	0.0224
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.109
p-valor correspondiente	> 0.15

Del histograma en la Figura 11 y la prueba de bondad de ajuste en la Tabla 8 se obtiene un $p > 0.15$, por lo que no se rechaza la hipótesis nula, que indica que los datos tienen una distribución Normal. Es decir, el RNP2 para R2 es una normal con media 44.6 y desviación estándar 1.02.

En el Anexo 2 se presentan los histogramas y las pruebas de bondad de ajuste para las distribuciones de los recorridos no productivos (RNP) en las demás rutas. En la Tabla 9, se muestra el resumen de las distribuciones.

Tabla 9 *Resumen de las distribuciones de los RNP por rutas*

Ruta	Recorrido no productivo inicial	Recorrido no productivo final
R1	NORM(45.3, 1.46)	NORM(44.6, 1.02)
R2	NORM(44, 1.41)	NORM(21.4, 0.743)
R3	NORM(5.91, 0.928)	NORM(11.6, 1.98)
R4	NORM(40.4, 1.39)	NORM(42.1, 1.14)
R5	NORM(5.37, 0.934)	NORM(64.7, 1.62)

c. Prueba de hipótesis de similitud entre los recorridos no productivos

Se pretendió considerar los recorridos no productivos de las rutas 1 y 4 similares, para lo cual se realizaron dos comparaciones de medias en el software Minitab.

Primero se compararon los recorridos no productivos iniciales de la ruta 1 y 4. Las hipótesis planteadas son las siguientes:

$$H_0: \mu_1 = \mu_4$$
$$H_1: \mu_1 \neq \mu_4$$

Después se obtuvo la diferencia, el intervalo de confianza (IC), el valor de T y p.

Tabla 10 *Comparación entre los RNP1 para R1 y R4*

α	Diferencia	IC	T	p
0.05	4.87	(4.47; 5.27)	24.08	0

Como p < 0.05, se rechaza la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95%, lo cual indica que las medias son diferentes. Es decir, los grupos no se pueden considerar similares, por lo que los recorridos no productivos iniciales de la ruta 1 y 4 no tienen el mismo comportamiento.

Luego se compararon los recorridos no productivos finales de la ruta 1 y 4. Las hipótesis planteadas son las siguientes:

$$H_0: \mu_1 = \mu_4$$
$$H_1: \mu_1 \neq \mu_4$$

Después se obtuvo la diferencia, el intervalo de confianza (IC), el valor de T y p.

Tabla 11 *Comparación entre los RNP2 para R1 y R4*

α	Diferencia	IC	T	p
0.05	2.51	(2.21; 2.91)	16.35	0

Como p < 0.05, se rechaza la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95%, lo cual indica que las medias son diferentes. Es decir, los grupos no se consideran similares, por lo que los recorridos no productivos finales de la ruta 1 y 4 no tienen el mismo comportamiento.

Las tablas de comparaciones de los demás recorridos no productivos por rutas se presentan en el Anexo 3. Además, en este mismo apartado se muestra el resumen de los p-valores entre las comparaciones tomadas de dos en dos. Se puede observar que el promedio de los recorridos no productivos iniciales y finales de las rutas no son similares, debido a que cada ruta realiza diferentes servicios para los clientes, por lo que fue necesario estimar las distribuciones para cada una de estas.

En el Anexo 4 se muestra el proceso de estimación de las distribuciones de probabilidad de los recorridos necesarios y las pruebas de hipótesis de similitud entre estos.

Con las distribuciones de probabilidad halladas, se procedió a elaborar el modelo en el software Arena.

d. Construcción del modelo de simulación I en el software Arena

El modelo de simulación I con el garaje original se construyó por rutas, es decir, un modelo para cada ruta, y se obtuvo cinco submodelos para todo el sistema.

Se desarrolló el modelo de simulación I paso a paso, donde se señalaron los elementos del sistema. A continuación, para la ruta 1 se realizó una descripción de los principales módulos de flujo y de datos del modelo en el software Arena.

- **Entidad**

  La entidad usada para el primer submodelo de simulación tuvo los parámetros mostrados en la Tabla 12.

Tabla 12 *Entidad para el submodelo de la ruta 1*

Entity type	Initial picture	Descripción
R1	Picture.Van	Vehículo con la ruta 1

- **Atributos**

Los atributos usados en el submodelo con la ruta 1 tuvieron los parámetros mostrados en la Tabla 13.

Tabla 13 *Atributos del submodelo para R1*

Name	Data type	Descripción
RNR_R1	Real	Recorrido necesario con la ruta 1
RNP_1_R1	Real	Recorrido no productivo inicial con la ruta 1
RNP_2_R1	Real	Recorrido no productivo final con la ruta 1

- **Indicadores del sistema**

Los indicadores del sistema que se usaron para evaluar los recorridos totales y no productivos, además de sus respectivos costos para los últimos mencionados, tuvieron los parámetros que se observan en la Tabla 14.

Tabla 14 *Indicadores para el submodelo con R1*

Type	Value	Tally name
Expression	RNR_R1	R_Necesario_R1
Expression	RNP_1_R1	R_No_Productivo1_R1
Expression	RNP_2_R1	R_No_Productivo2_R1
Expression	(RNP_1_R1+RNP_2_R1)*CU	Costo_RNP_R1

- **Actividades**

Luego de mostrar la entidad, atributos y los indicadores para el submodelo de la ruta 1, se describen las actividades realizadas para cada módulo, como se puede observar en la Tabla 15.

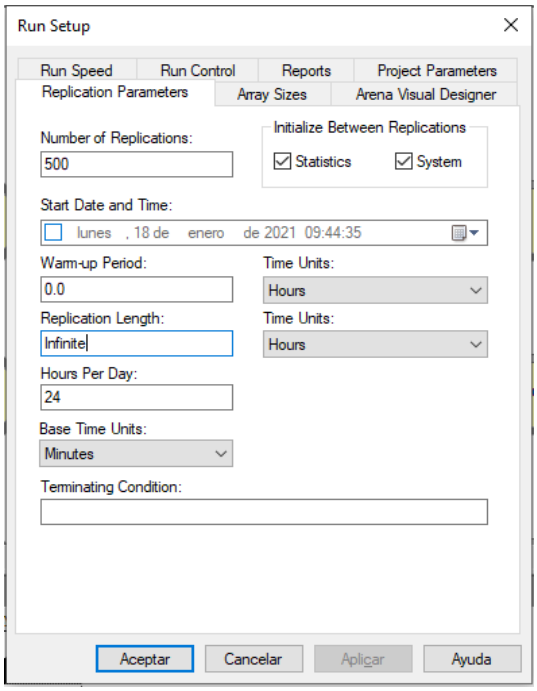
Tabla 15 *Actividades de los módulos para el submodelo de R1*

Módulo	Name	Descripción
Create	Salida de garaje	Inicio del servicio de la ruta 1.
Assign	Inicialización	Inicialización de todos los atributos con un valor de 0.
Assign	GRO_GRP	Adición del valor del recorrido no productivo inicial al atributo RNP_1_R1.
Assign	Servicios	Adición del valor del recorrido necesario al atributo RNR_R1.
Assign	ECR_GRO	Adición del valor del recorrido no productivo final al atributo RNP_2_R1.
Record	Estadísticas	Evaluación de los indicadores del sistema especificados por el analista.
Dispose	Entrada a garaje	Fin del servicio de la ruta 1.

- **Setup**

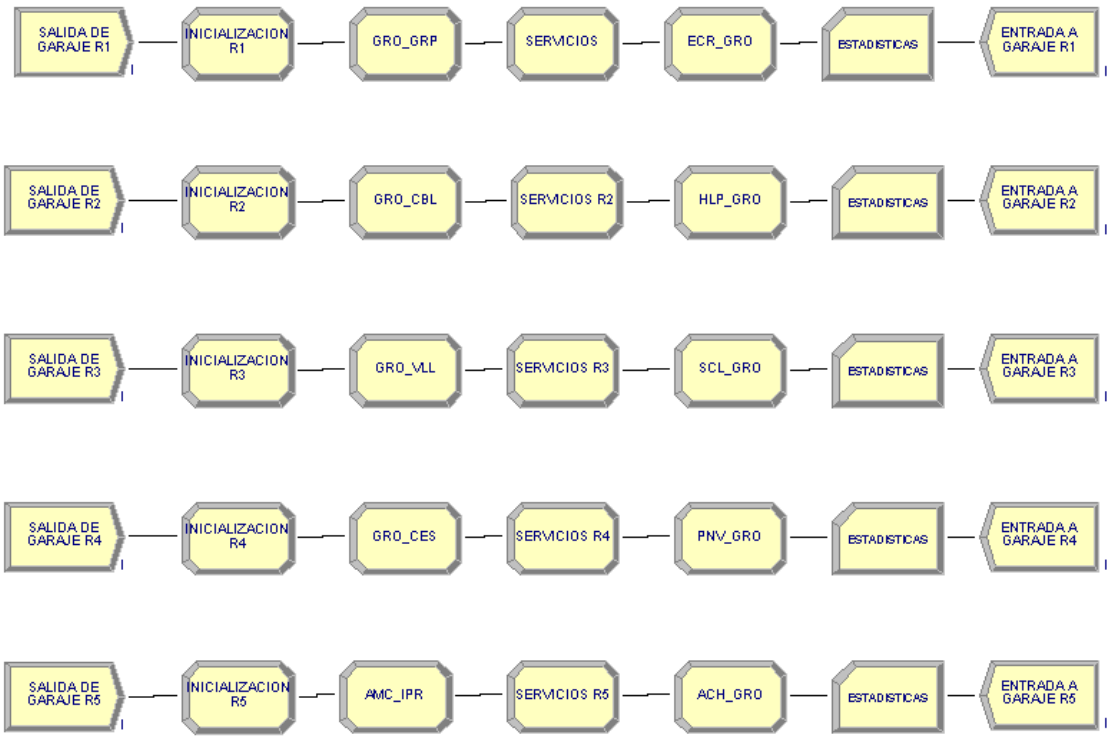
En la sección Run Setup, como se puede ver en la Figura 12, se estableció a 500 el número de réplicas y se consideró 24 horas por día, además el tiempo y sus unidades son triviales pues no se tendrá en consideración para el modelo. Por otra parte, la longitud de la réplica es infinita, ya que se estableció un vehículo para cada ruta por día.

Figura 12 *Configuración del modelo de simulación I*



Análogamente se realizaron los mismos pasos para las demás rutas (ruta 2, ruta3, ruta 4 y ruta 5), y se obtuvo el modelo de simulación I con el garaje original como se puede ver en la Figura 13.

Figura 13 *Modelo de simulación I con el garaje original*



e. Validación del modelo de simulación I

En la Tabla 16, se comparan los recorridos totales promedios reales con los simulados de todas las rutas, con el fin de validar el modelo de simulación I. Se puede observar que las diferencias promedio son poco significativas.

Tabla 16 *Comparación del recorrido total promedio real con el simulado en kilómetros*

Ruta	Real	Simulado	Diferencia
R1	7444.48	7453.49	9.01
R2	4615.84	4619.84	3.99
R3	9717.11	9726.97	9.86
R4	6351.48	6357.37	5.89
R5	6394.12	6402.89	8.77

Como lo que interesa son los recorridos no productivos se hizo una comparación análoga la cual se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17 *Comparación del recorrido no productivo promedio real con el simulado en kilómetros*

Ruta	Real	Simulado	Diferencia
R1	2247.41	2249.99	2.58
R2	1623.00	1621.59	1.42
R3	437.88	435.22	2.66
R4	2062.98	2060.87	2.11
R5	1751.97	1750.89	1.08

Como se observa, las diferencias son pocos significativas, por lo cual se hizo una prueba de diferencia de medias. Se obtuvo la Tabla 18, donde se muestra en resumen los p-valores que corroboran que el modelo simulado representa el proceso real.

Las hipótesis planteadas son:

$$H_0: \mu_x = \mu_y$$

$$H_1: \mu_x \neq \mu_y$$

Donde μ_x y μ_y son las medias de los recorridos no productivos reales y simulados en las rutas x e y respectivamente, $x = y = 1, 2, 3, 4\ y\ 5$, es decir:

H_0: *Los recorridos no productivos reales y simulados por rutas son iguales*

H_1: *Los recorridos no productivos reales y simulados por rutas son diferentes*

Tabla 18 *p-valor de la diferencia de medias entre los RNP reales y simulados de las rutas*

Real	Simulado				
	R1	R2	R3	R4	R5
R1	0.66				
R2		0.80			
R3			0.89		
R4				0.98	
R5					0.99

Se observa en Tabla 18 que el p-valor > 0.05, para las pruebas de hipótesis, por lo que no se rechaza la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95%. Es decir, las medias de los recorridos no productivos simulados y reales por rutas son iguales.

3.7.2. Costos promedios de los recorridos no productivos con el modelo I

Luego de validar el modelo de simulación I, se calcula el costo de combustible por ruta.

Como se tiene el recorrido total mensual real y el costo de combustible mensual por ruta, en la Tabla 19 se calcula el costo unitario promedio por ruta, dividiendo el costo de combustible con respecto al recorrido total mensual real para cada ruta.

Tabla 19 *Costo unitario promedio por ruta (soles/kilómetros)*

Ruta	Recorrido total	Costo de combustible	Costo unitario promedio
R1	7444.48	11247.15	1.5108
R2	4615.84	7027.01	1.5224
R3	9717.11	14691.76	1.5119
R4	6351.48	10191.53	1.6046
R5	6394.12	9611.36	1.5032

Se pretendió considerar los costos unitarios promedios por rutas como un solo valor, pues aparentan ser similares. Por ello, se realizó comparaciones de medias usando el software Minitab.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

$$H_0: \mu_x = \mu_y$$

$$H_1: \mu_x \neq \mu_y$$

Donde μ_x y μ_y son las medias de los costos unitarios en las rutas x e y respectivamente, $x \neq y = 1, 2, 3, 4\ y\ 5$, en otras palabras:

$$H_0: Los\ costos\ unitarios\ por\ rutas\ son\ iguales$$

$$H_1: Los\ costos\ unitarios\ por\ rutas\ son\ diferentes$$

Se observa en %. Es decir, los costos unitarios por rutas son iguales. Dada la situación, se trabajó con 1.5113 como costo unitario promedio para todas las rutas.

Tabla 20 que el p-valor > 0.05, para las pruebas de hipótesis, por lo que no se rechaza la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95%. Es decir, los costos unitarios por rutas son iguales. Dada la situación, se trabajó con 1.5113 como costo unitario promedio para todas las rutas.

Tabla 20 *p-valor de la diferencia de medias entre los costos unitarios promedios por rutas*

	R1	R2	R3	R4	R5
R1	-				
R2	0.30	-			
R3	0.87	0.55	-		
R4	0.48	0.19	0.65	-	
R5	0.45	0.17	0.52	0.70	-

Una vez obtenido el costo unitario promedio, en la Tabla 21 se calculan los costos promedios mensuales de los recorridos no productivos totales, donde RNPT = RNP1+RNP2.

Tabla 21 *Costos promedios mensuales de los recorridos no productivos por rutas*

Ruta	RNPT	Costo (S/.)
R1	2249.99	3400.25
R2	1633.38	2468.47
R3	435.22	657.73
R4	2060.87	3114.50
R5	1750.89	2646.00

Se puede observar que los costos promedios mensuales de combustible de los recorridos no productivos son elevados por cada ruta, y equivalen en general al 23.28% de los costos promedios mensuales de los recorridos totales, como se observa en la Tabla 22.

Tabla 22 *Costos de los recorridos no productivos por rutas con respecto a los costos de los recorridos totales*

Ruta	Porcentaje
R1	30.23%
R2	35.13%
R3	4.48%
R4	30.56%
R5	27.53%

En la tabla anterior se muestra que el porcentaje de los recorridos no productivos totales varían entre 4.48% y 35.13%, debido a que la ubicación del garaje original (GRO) es conveniente para la ruta 3, pero no para las demás.

3.7.3. Ubicaciones factibles para el nuevo garaje

a. Selección de posibles ubicaciones

Se solicitó al Gerente de Operaciones y Logística la lista de posibles ubicaciones para el nuevo garaje en el departamento de Ica. Se obtuvo la Tabla 23, donde se muestran los garajes, códigos y ubicaciones (en coordenadas de latitud y longitud).

Tabla 23 *Posibles ubicaciones para el nuevo garaje*

Lugar	Código	Latitud	Longitud
Garaje 1	GR1	-13.712518	-76.153215
Garaje 2	GR2	-13.681556	-76.155028
Garaje 3	GR3	-13.493842	-76.139671
Garaje 4	GR4	-13.830568	-76.139896
Garaje 5	GR5	-13.705800	-76.197055
Garaje 6	GR6	-13.716178	-76.219058

b. Identificación de los criterios y pesos para las posibles ubicaciones

Se identificaron los criterios relevantes para la ubicación del nuevo garaje y se asignaron los pesos correspondientes a cada uno juntamente con el Gerente de Operaciones y Logística, como se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24 *Criterios y pesos para la selección de ubicaciones factibles*

Criterios	Peso
Costos	0.72
Mercado y clientes	0.10
Disponibilidad de mano de obra	0.03
Factores sociales	0.08
Medio ambiente	0.05
Factores tecnológicos	0.02

c. Selección de las ubicaciones factibles

Se realizaron reuniones con el Directorio con el fin de analizar cada una de las posibles ubicaciones, bajo los criterios establecidos en la tabla anterior mediante el método de factores ponderados. Se puede ver el procedimiento en la Tabla 25.

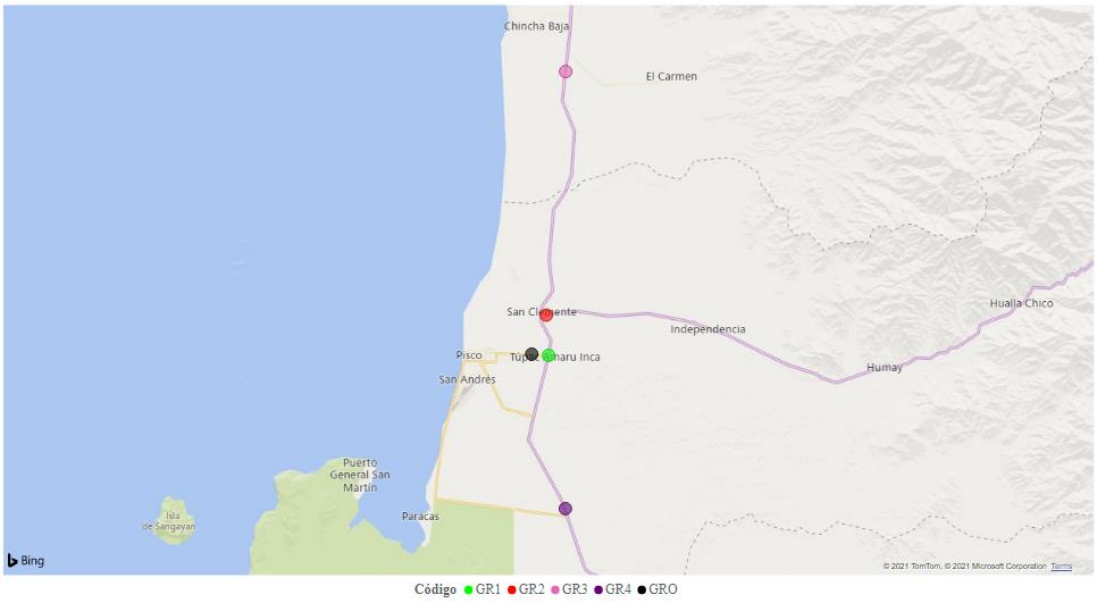
Tabla 25 *Ponderación de posibles ubicaciones por criterios*

Lugar	Costos	Mercado y clientes	Disponibilidad de mano de obra	Factores sociales	Medio ambiente	Factores tecnológicos	Ponderación
GR1	5	6	7	6	7	6	5.36
GR2	6	7	6	8	6	7	6.28
GR3	7	4	4	5	5	4	6.29
GR4	5	5	6	6	6	5	5.16
GR5	3	4	5	7	6	4	3.65
GR6	2	5	6	7	7	6	3.15

Una vez realizada la valoración de las posibles ubicaciones por cada criterio, se multiplica por el peso de cada criterio, con lo que resulta una ponderación para cada posible ubicación. El Directorio descartó al garaje 5 y garaje 6, pues sus costos son altos. Se debe tener en cuenta que los costos son un gasto para la empresa, por lo que se consideraron de forma inversa, es decir, cuanto más alto fue el costo obtuvo una menor calificación y cuanto más bajo obtuvo una mayor calificación.

En la Figura 14 se muestran las ubicaciones factibles para el nuevo garaje, las cuales se consideran viables, cumplieron con los criterios preestablecidos y se consideraron para el presente estudio.

Figura 14 *Ubicaciones factibles para el nuevo garaje*



A continuación, en la Tabla 26 se presentan las distancias de los garajes factibles a los puntos de inicio y fin del servicio a los clientes para poder visualizar mejor como cambian con respecto a cada uno.

Tabla 26 *Distancias de los garajes factibles a los puntos de inicio y fin del servicio a los clientes en kilómetros*

Garaje	Puntos de inicio					Puntos de fin				
	GPR	CBL	VLL	CES	AMC	ECR	HLP	SCL	PNV	ACH
GR1	37.5	35	0.11	34.2	5.1	37	22	3.9	36.5	57.8
GR2	34.4	31.9	4.3	31.1	9.3	33.9	26.2	0.6	33.4	62
GR3	11.9	9.4	25.7	8.6	30.7	11.5	53	22.6	10.9	83.4
GR4	55.7	50.8	15.7	50	19.8	52.9	13.6	19.7	52.3	43

Nota. Estas distancias han sido obtenidas mediante Google Maps.

Como se puede observar, las distancias varían entre 0.11 y 83.4 kilómetros, pues los clientes están dispersos en todo el departamento de Ica, como se pudo observar en la distancia que se extiende a los puntos de inicio y fin de servicios. También, se referencian

las frecuencias de servicios mensuales mediante el tamaño de los círculos que rodean las ubicaciones de cada uno. (Figura 1)

Analizando el garaje en la ubicación factible 1 (GR1), el recorrido de la ruta 1 inicia en GRP y termina en ECR. Por lo tanto, el recorrido no productivo de la ruta 1 es GR1 □GRP y ECR□GR1; en el mejor de los casos, será de 37.5 + 37 = 74 kilómetros por día.

En la Tabla 27 se muestran los recorridos no productivos iniciales y finales por rutas con los garajes factibles según los datos de Google Maps.

Tabla 27 *Recorrido no productivo inicial y final con los garajes factibles según Google Maps*

GR1					
Ruta	Recorrido no productivo inicial		Recorrido no productivo final		Recorrido no productivo total
R1	GR1→GRP	37.5	ECR→GR1	37	74.5
R2	GR1→CBL	35	HLP→GR1	22	57
R3	GR1→VLL	0.11	SCL→GR1	3.9	4.01
R4	GR1→CES	34.2	PNV→GR1	36.5	70.7
R5	GR1→AMC	5.1	ACH→GR1	57.8	62.9
GR2					
Ruta	Recorrido no productivo inicial		Recorrido no productivo final		Recorrido no productivo total
R1	GR2→GRP	34.4	ECR→GR2	33.9	68.3
R2	GR2→CBL	31.9	HLP→GR2	26.2	58.1
R3	GR2→VLL	4.3	SCL→GR2	0.6	4.9
R4	GR2→CES	31.1	PNV→GR2	33.4	64.5
R5	GR2→AMC	9.3	ACH→GR2	62	71.3
GR3					
Ruta	Recorrido no productivo inicial		Recorrido no productivo final		Recorrido no productivo total
R1	GR3→GRP	11.9	ECR→GR3	11.5	23.4

R2	GR3→CBL	9.4	HLP→GR3	53	62.4
R3	GR3→VLL	25.7	SCL→GR3	22.6	48.3
R4	GR3→CES	8.6	PNV→GR3	10.9	19.5
R5	GR3→AMC	30.7	ACH→GR3	83.4	114.1

GR4

Ruta	Recorrido no productivo inicial		Recorrido no productivo final		Recorrido no productivo total
R1	GR4→GRP	55.7	ECR→GR4	52.9	108.6
R2	GR4→CBL	50.8	HLP→GR4	13.6	64.4
R3	GR4→VLL	15.7	SCL→GR4	19.7	35.4
R4	GR4→CES	50	PNV→GR4	52.3	102.3
R5	GR4→AMC	19.8	ACH→GR4	43	62.8

Nota. Estas distancias han sido obtenidas mediante Google Maps.

d. Estudio piloto de las ubicaciones factibles

Se realizó un estudio piloto para estimar los recorridos no productivos de las ubicaciones factibles para el nuevo garaje. Cabe señalar que se solicitó al Gerente de Operaciones y Logística y al Directorio el desvío al iniciar las rutas actuales de los vehículos de la empresa, para que coincidan con las ubicaciones factibles en el transcurso de los servicios.

Para obtener el tamaño mínimo de la muestra a evaluar, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Tamaño de muestra} = \frac{Z^2 * p * (1 - p)}{c^2} * P$$

Donde se contó con un 95% de nivel de confianza (Z), un 50% de probabilidad (p), un 8% del margen de error (c) y 500 servicios por rutas como población (P), resultando 117 servicios por rutas en total.

$$\text{Tamaño de muestra} = \frac{0.95^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{0.08^2} * 500 \approx 117$$

El estudio se elaboró del 01 de mayo al 30 de mayo del 2024, obteniendo 120 servicios por ruta como el tamaño de la muestra, lo cual resulta mayor al mínimo establecido en la fórmula anterior. La muestra obtenida y la forma de estructurarla, se puede ver en el Anexo 5.

3.7.4. Costos promedios mensuales con el garaje en las ubicaciones factibles

a. Adaptación del modelo de simulación I

Luego de realizar el estudio piloto, se procedió a adaptar el modelo de simulación I a las diversas ubicaciones factibles para el nuevo garaje, variando principalmente las estimaciones de las distribuciones de los recorridos no productivos.

Garaje en la ubicación factible 1 (GR1)

Con la finalidad de adaptar el modelo de simulación I con el garaje en la ubicación factible 1, se estimó las distribuciones de probabilidad para los recorridos no productivos de todas las rutas. Se realizaron histogramas de frecuencias en Minitab y se utilizó la herramienta Input Analyzer de Arena a fin de realizar las pruebas de bondad de ajuste.

Primero, se estimó la distribución del recorrido no productivo inicial para la ruta 1 con el garaje en la ubicación factible 1.

Las hipótesis son las siguientes:

$$H_0: Los\ datos\ de\ los\ RNP1\ en\ R1\ con\ GR1\ tienen\ una\ distribución\ Normal$$

$$H_1: Los\ datos\ de\ los\ RNP1\ en\ R1\ con\ GR1\ no\ tienen\ una\ distribución\ Normal$$

Figura 15 *Histograma del RNP1 en R1 con GR1*

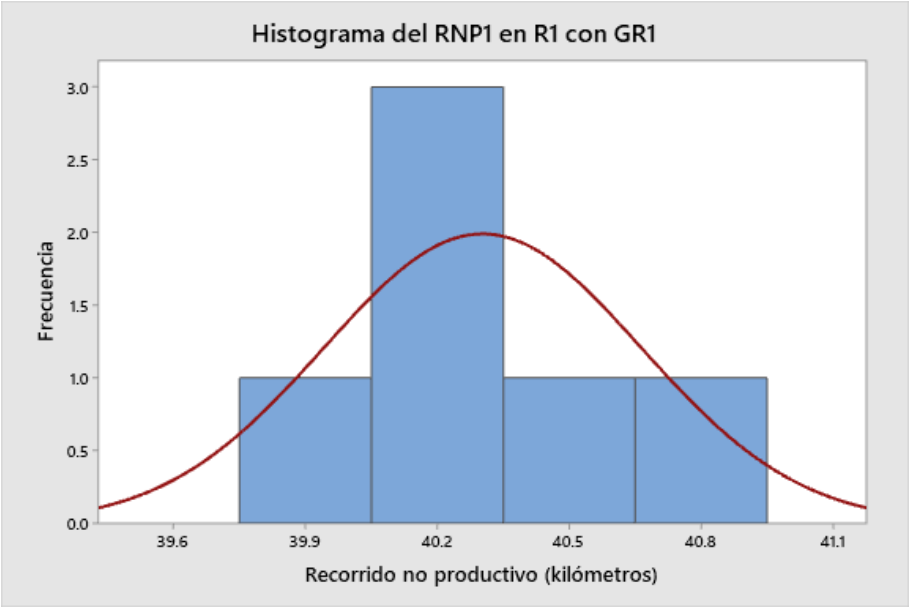


Tabla 28 *Distribución del RNP1 para R1 con GR1 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución	Normal
Expresión	NORM(40.3, 0.327)
Error cuadrático medio	0.1248
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.289
p-valor correspondiente	> 0.15

Del histograma en la Figura 15 y la prueba de bondad de ajuste en la Tabla 28 resulta un $p > 0.15$, por lo que no se rechaza la hipótesis nula que señala que los datos tienen una distribución Normal. Es decir, el recorrido no productivo inicial para la ruta 1 con el garaje en la ubicación factible 1 es una normal con media 40.3 y desviación estándar 0.327.

Luego, se estimó la distribución del recorrido no productivo final para la ruta 1 con el garaje en la ubicación factible 1.

Figura 16 *Histograma del RNP2 en R1 con GR1*

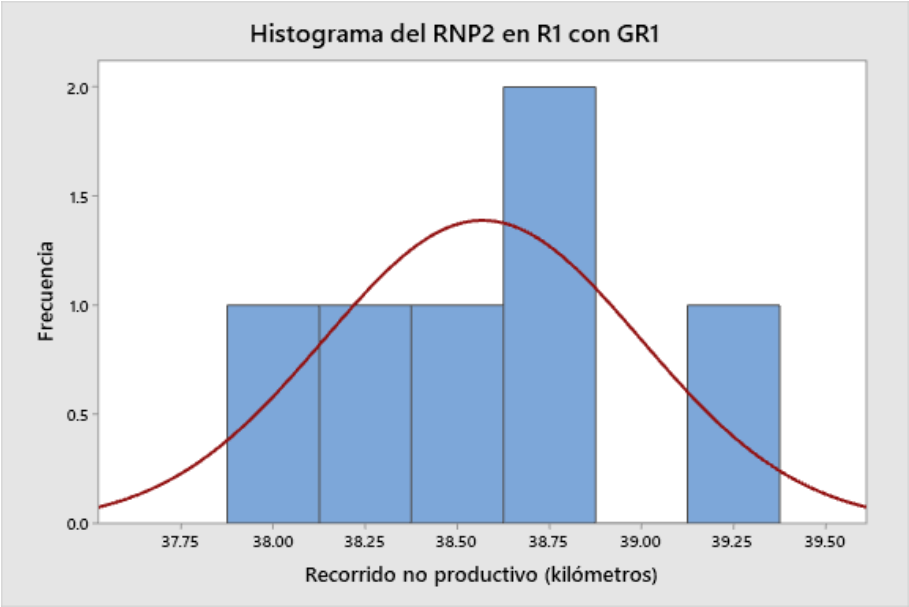


Tabla 29 *Distribución del RNP2 para R1 con GR1 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución	Normal
Expresión	NORM(38.6, 0.393)
Error cuadrático medio	0.0174
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.158
p-valor correspondiente	> 0.15

Del histograma en la Figura 16 y la prueba de bondad de ajuste en la Tabla 29 resulta un $p > 0.15$, por lo que no se rechaza la hipótesis nula, que señala que los datos tienen una distribución Normal. Es decir, el recorrido no productivo final para la ruta 2 con el garaje en la ubicación factible 1 es una normal con media 38.6 y desviación estándar 0.393.

En el Anexo 6, se muestran los histogramas y los reportes de las pruebas de bondad de ajuste para las distribuciones de los recorridos no productivos en las demás rutas, en síntesis se obtuvo el resumen de las distribuciones, como se presenta en la Tabla 30.

Tabla 30 *Resumen de las distribuciones de los RNP por rutas con el GR1*

Ruta	Recorridos no productivos iniciales (RNP1)	Recorridos no productivos finales (RNP2)
R1	NORM(40.3, 0.327)	NORM(38.6, 0.393)
R2	NORM(38, 0.432)	NORM(22.8, 0.405)
R3	NORM(1.62, 0.242)	NORM(6.91, 0.502)
R4	NORM(37, 0.429)	NORM(37.9, 0.308)
R5	NORM(7.02, 0.375)	NORM(61.5, 0.491)

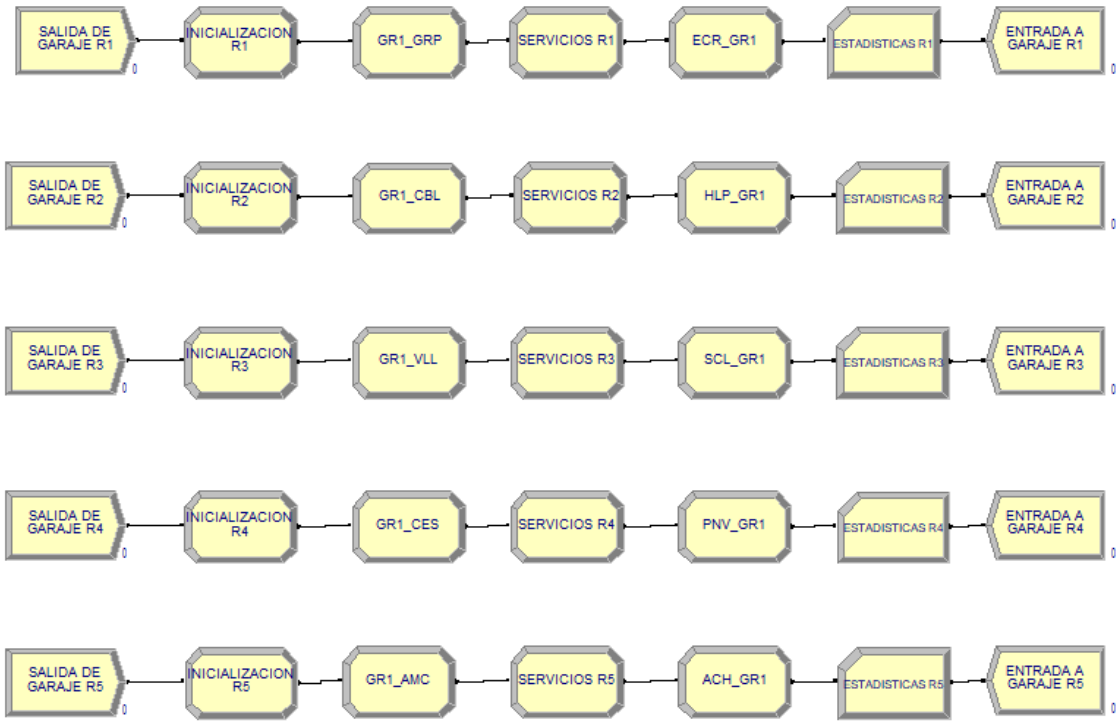
Después, se realizó una prueba de diferencias de medias entre los recorridos no productivos reales recolectados durante la prueba piloto y los de las simuladas. En la Tabla 31 se muestran los p-valores de las pruebas de diferencia de medias para corroborar que los recorridos obtenidos en la prueba piloto para cada ubicación factible son similares a los valores simulados con el modelo para la ubicación factible 1.

Tabla 31 *p-valor de la diferencia de medias entre los RNP de la prueba piloto y los de los recorridos simulados con el GR1*

Recorrido no productivo inicial					
Real	Estimado				
	R1	R2	R3	R4	R5
R1	0.99				
R2		0.88			
R3			1.00		
R4				0.98	
R5					0.99
Recorrido no productivo final					
Real	Estimado				
	R1	R2	R3	R4	R5
R1	0.86				
R2		0.93			
R3			1.00		
R4				1.00	
R5					0.98

Por último, se adaptó el modelo de simulación I con el garaje en la ubicación factible 1 como se muestra en la Figura 17. Se puede apreciar cómo varían los módulos tanto en nombre como atributos, debido a que los servicios inician y terminan en la ubicación factible 1 y utilizan las distribuciones estimadas en la Tabla 30.

Figura 17 *Modelo de simulación I adaptado con el garaje en la ubicación factible 1*



En el Anexo 7, se realizaron los mismos pasos para el garaje en las demás ubicaciones factibles (GR2, GR3 y GR4). Se obtuvo el modelo de simulación I adaptado en cada una de estas, como se muestra en la Figura 18, Figura 19 y Figura 20.

Figura 18 *Modelo de simulación I adaptado con el garaje en la ubicación factible 2*

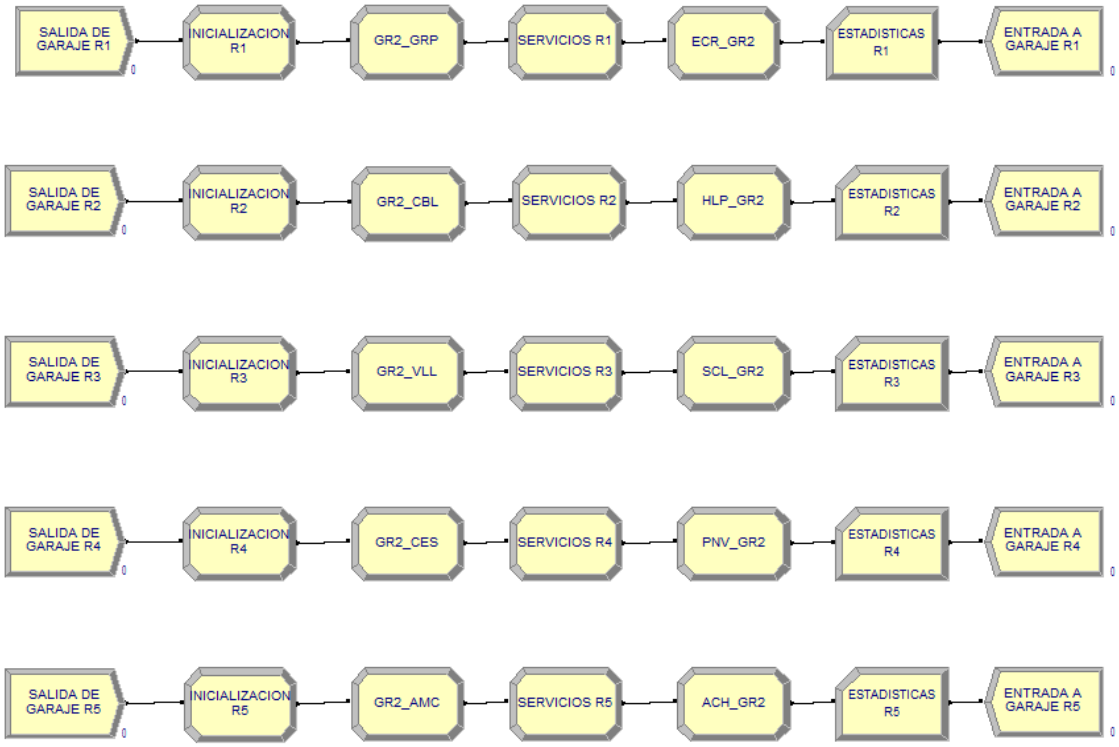


Figura 19 *Modelo de simulación I adaptado con el garaje en la ubicación factible 3*

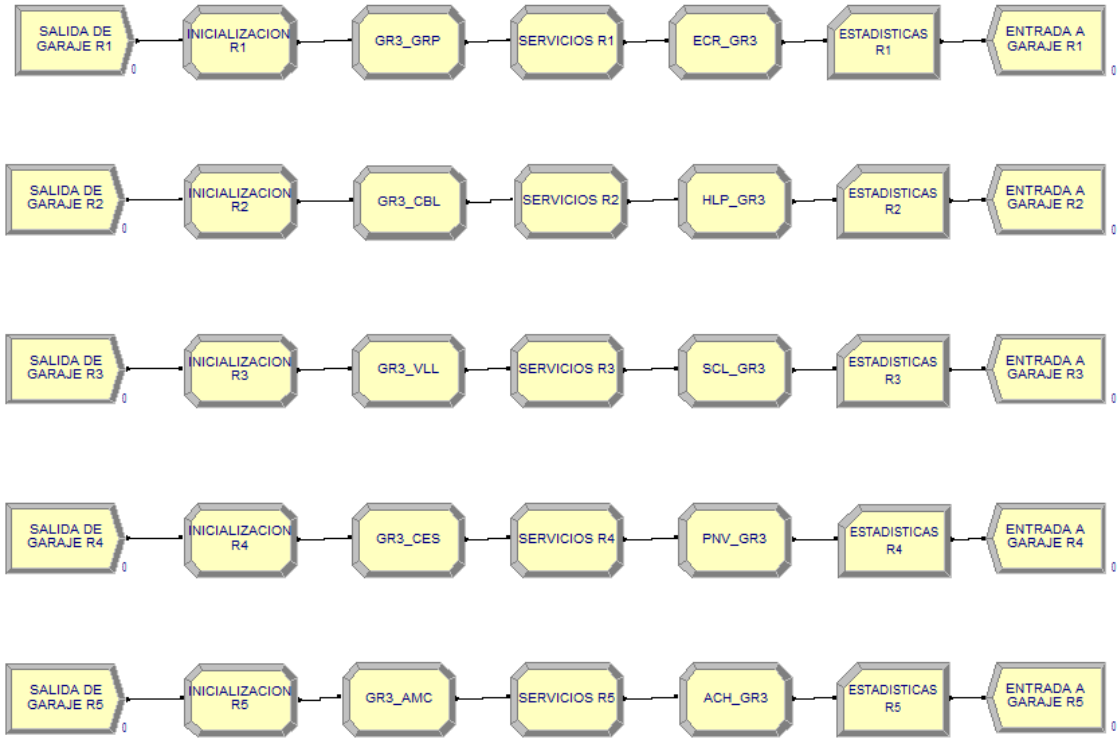
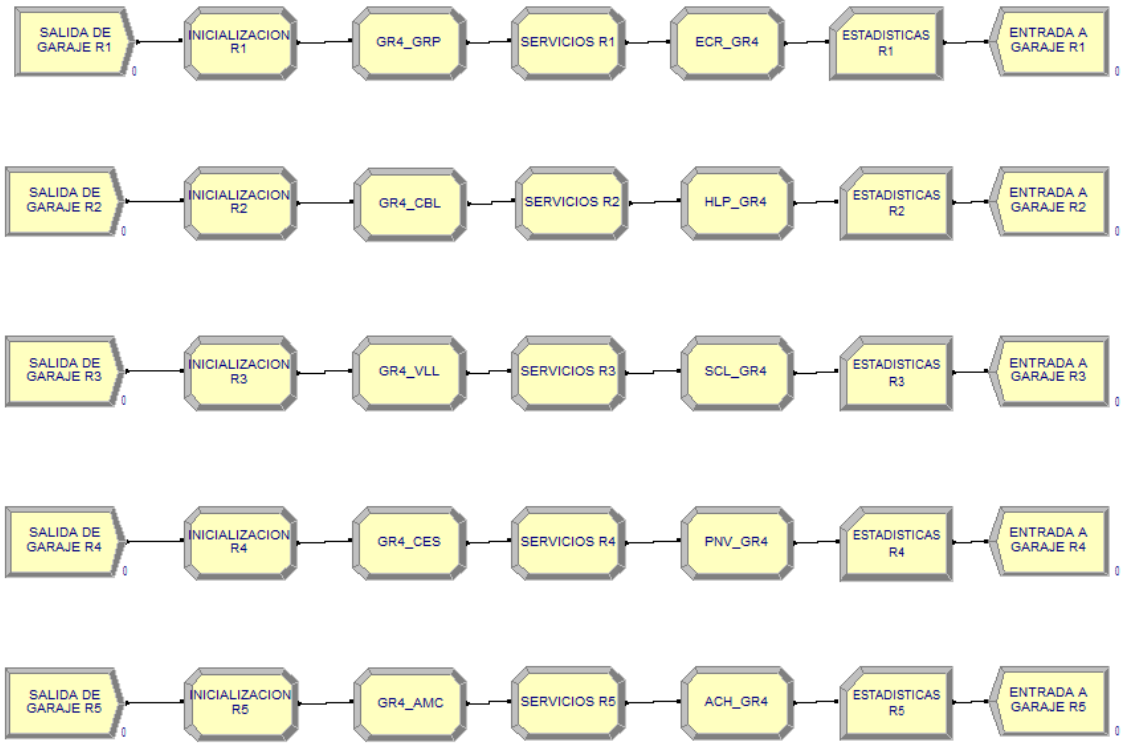


Figura 20 *Modelo de simulación I adaptado con el garaje en la ubicación factible 4*



b. Experimentación con cada modelo de simulación adaptado

Se experimentó con los modelos de simulación adaptados con el garaje en las ubicaciones factibles, para calcular los recorridos no productivos totales y estimar los costos promedios mensuales. Se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 32.

Tabla 32 *Recorridos no productivos totales y sus respectivos costos promedios para las rutas con los garajes factibles*

Ruta	Garajes factibles							
	GR1		GR2		GR3		GR4	
	RNPT	Costo	RNPT	Costo	RNPT	Costo	RNPT	Costo
R1	1973	2982	1813	2740	678	1025	2821	4263
R2	1520	2297	1549	2341	1660	2509	1715	2592
R3	213	321	260	392	1340	2025	1014	1533
R4	1872	2829	1699	2568	592	895	2675	4042
R5	1713	2588	1900	2871	2955	4465	1675	2531

c. Comparación de los n costos estimados en las ubicaciones factibles

Luego se realizó una comparación de los costos promedios mensuales por rutas que generan los recorridos no productivos promedios mensuales para el nuevo garaje en las ubicaciones factibles, incluyendo el garaje en la ubicación original (GRO). En la Tabla 33 se presenta un resumen de los costos de los recorridos no productivos totales de todas las ubicaciones factibles incluyendo los del garaje original.

Tabla 33 *Costos promedios mensuales de los RNPT con el garaje en la posición original y en las ubicaciones factibles*

	GRO	GR1	GR2	GR3	GR4
RNPT mensual (km)	8130.34	7290.34	7221.22	7224.61	9898.72
Costo promedio mensual (S/.)	12286.95	11017.31	10912.92	10918.26	14959.79

Después se elaboró un ranking de los costos promedios mensuales para el nuevo garaje con las ubicaciones factibles, ordenando de menor a mayor con respecto a los recorridos no productivos promedios mensuales y sus correspondientes costos (pues son directamente proporcionales), se presentan en la Tabla 34.

Tabla 34 *Ranking de los costos promedios mensuales para el nuevo garaje en las ubicaciones factibles*

Posición	Lugar	RNPT mensual (km)	Costo promedio mensual (S/.)
1	GR2	7221.22	10912.92
2	GR3	7224.61	10918.26
3	GR1	7290.34	11017.31
4	GRO	8130.34	12286.95
5	GR4	9898.72	14959.79

Por tanto, el nuevo garaje en la ubicación factible 2 (GR2) es la mejor alternativa, pues genera un recorrido no productivo total mensual de 7221.22 kilómetros y un costo promedio mensual de 10 912.92 soles. Esto le permite ocupar la primera posición en el ránking al tratarse de resultados menores con respecto a los demás. Sin embargo, el nuevo garaje con la ubicación factible 3 (GR3) también puede ser una opción viable, ya que sus resultados no son significativamente mayores respecto a la mejor alternativa.

Para finalizar, se elabora una propuesta ejecutiva presentada ante el Gerente de Operaciones y Logística, y al Directorio, la cual se dividió en antecedentes, justificación, objetivos, método, beneficios, condiciones y vigencia.

IV. Conclusiones

Sobre la base de los resultados, se observa que se lograron los objetivos de la investigación:

En relación con el primer objetivo específico, se construye el modelo de simulación I en el software Arena, que representa los servicios por rutas de los vehículos de la empresa de transporte con la ubicación original del garaje, en el departamento de Ica. El modelo describe cuantitativamente los recorridos no productivos iniciales y finales, es decir, la salida de vehículos del garaje en la ubicación original hacia el primer servicio de la ruta y cuando vuelven del último servicio. Cabe recalcar que también describe los recorridos necesarios por rutas; aunque no es de interés del presente estudio, permite una mejor descripción del proceso. Se contrasta el modelo con los datos obtenidos de los meses de enero a abril del 2024. Para validarlos, se realiza una prueba de hipótesis de las diferencias de medias entre los recorridos no productivos reales y los simulados. Se obtuvieron p-valores de 0.69 a 0.99 por rutas, por lo cual se valida que el modelo de simulación I representa la realidad.

En lo que respecta al segundo objetivo específico, con el modelo de simulación I se calcularon los costos promedios mensuales que generan los recorridos no productivos de los vehículos por rutas con el garaje en la ubicación original. Se observó que son el 23.28% de los costos de combustible totales, y estos no son subvencionados por los clientes. Todo lo contrario: la empresa los asume, porque el garaje se encuentra en un lugar no conveniente.

En cuanto al tercer objetivo específico, fueron identificadas seis ubicaciones posibles, pero se descartaron dos por su alto costo; quedando cuatro ubicaciones factibles para el nuevo garaje, que cumplen con los criterios establecidos en coordinación con el Gerente de Operaciones y Logística y al Directorio. Además, se realiza un estudio piloto para cada

ubicación factible, con el fin de estimar las distribuciones de los recorridos no productivos en los servicios por rutas.

En relación con el cuarto objetivo, se adapta el modelo de simulación I y luego se realiza un experimento con los cuatro modelos, uno para cada ubicación factible del nuevo garaje, incluyendo el garaje en la ubicación original. Resultando que la ubicación factible 2 es la que genera el menor recorrido no productivo de 7221.22 kilómetros y el menor costo de 10 912.92 soles mensuales, lo que equivale a un ahorro de 16 488.3 soles anuales. Vale la pena mencionar que las ubicaciones factibles para el nuevo garaje son lugares disponibles para su uso inmediato; en otras palabras, la empresa no tendrá que invertir una cantidad considerable de dinero para poder trabajar en estos lugares. La empresa no se verá obligada a realizar una inversión considerable de recursos financieros para operar en un garaje basándose sólo por criterios subjetivos o juicios de valor, sino en una investigación profunda, lo que permitirá un uso más eficiente de los fondos disponibles y una mayor flexibilidad para adaptarse a las demandas del mercado.

En conclusión, la ubicación factible 2 es la mejor para el nuevo garaje, pues se espera que los recorridos no productivos y sus respectivos costos disminuyan en la mayor medida posible con respecto a las ubicaciones identificadas como alternativas. Se debe tener en cuenta que los recorridos no productivos son inevitables, pero resultan ser menores con la ubicación propuesta como alternativa de solución.

V. Recomendaciones

Las recomendaciones a detallade que se proponen para este trabajo de investigación son las siguientes:

- Estructurar de una forma más adecuada los reportes de los servicios del Gerente de Operaciones y Logística para que el Área de Monitoreo pueda utilizar los con mayor frecuencia; es conveniente incluir la hora y kilometraje de entrada y salida de los vehículos al garaje.

- Establecer un indicador de consumo para los conductores y vehículos de la empresa, estudiar sus variaciones acerca del consumo unitario de combustible por periodo de preferencia, tomar medidas preventivas, correctivas y de mejora, ya que es un factor clave de los costos variables.

- Implementar charlas de seguridad vial para los conductores de la empresa de transporte, con una auditoría interna, en específico sobre la conducción eficiente. Esta consiste en un nuevo modo de conducir el vehículo, que tiene como objetivo lograr un bajo consumo de combustible.

- Para futuras investigaciones, se recomienda considerar que en los últimos años ha aumentado significativamente la bibliografía especializada en simulación aplicada a la localización de instalaciones en el sector de transporte. Se sugiere explorar recientes desarrollos teóricos y estudios de caso, especialmente enfocados en la optimización de costos operativos mediante técnicas avanzadas de simulación de eventos discretos.

VI. Bibliografía

Brown, J. (2019). *Discrete Event Simulation for Optimizing Bus Terminal Locations to Reduce Operational Costs* (Undergraduate thesis). Stanford University, Stanford, CA, USA.

Carrión, F. (2020). *Optimización de la ubicación de garajes para la reducción de costos operativos en empresas de transporte terrestre en Lima* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Chen, L. (2020). *Application of Simulation Techniques in Public Transport Systems: A Case Study in Hong Kong* (Undergraduate thesis). University of Hong Kong, Hong Kong.

CRB Group. (2021). *Strategic Facility Planning: An Overview, The Process and Importance*. Recuperado de crbgroup.com

Flores, A. (2019). *Simulación de eventos discretos para la localización óptima de garajes en empresas de transporte interprovincial en Perú* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. K. (2008). *Operations Management: Processes and Supply Chains* (9th ed.). Pearson Education.

López, R. (2017). *Simulación de eventos discretos para la localización óptima de centros de mantenimiento en una empresa de transporte interprovincial en Trujillo* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Lumen Learning. (2023). *Facility Location and Layout*. Recuperado de courses.lumenlearning.com

Patel, S. (2017). *Simulation Modeling for Location Optimization of Transport Hubs: Case Study of Delhi Metro* (Undergraduate thesis). Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi, India.

Pineda, D. (2015). *Sistema de control de la producción basado en tarjetas para entornos de tipo taller: estudio del sistema COBACABANA y propuesta de mejora* (Tesis de maestría). Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

Reynoso, J. (2018). *Aplicación de la Simulación de Sistemas para reducir la Formación de colas en Pizza Palace, Lima – 2018* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco, Perú.

Rockwell Automation. (2023). *Mejorando la Eficiencia con el Software de Simulación Arena*. Recuperado de rockwellautomation.com

Springer. (2023). *Advances in system simulation*. Springer Publications. https://www.springer.com

TechTarget. (2022). *What is system simulation?*. https://www.techtarget.com

Torres, V. (2016). *Simulación de Sistemas con el software Arena*. Lima, Perú: Fondo Editorial.

Vargas, E. (2021). *Simulación para la optimización de la localización de garajes en empresas de transporte de carga en Lima Metropolitana* (Tesis de pregrado). Universidad del Pacífico, Lima, Perú.

Winston, W. (1994). *Investigación de Operaciones: Aplicaciones y Algoritmos*. Ciudad de México, México: Thomson.

VII. Anexos

Anexo 1 Servicios por rutas con el garaje en la ubicación original

Tabla A. 1 *Servicios por rutas con GRO*

Fecha	Ruta	RN	RNP1	RNP2	RT
2/01/2024	R1	205.67	44.00	46.12	295.79
2/01/2024	R2	117.97	44.75	22.22	184.94
2/01/2024	R3	361.31	5.55	10.54	377.40
2/01/2024	R4	173.25	41.50	42.85	257.60
2/01/2024	R5	189.63	5.64	64.49	259.76
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
30/04/2024	R1	208.32	46.09	45.37	299.78
30/04/2024	R2	124.38	43.39	21.73	189.50
30/04/2024	R3	370.60	5.73	11.91	388.24
30/04/2024	R4	173.43	39.03	43.10	255.56
30/04/2024	R5	187.16	5.33	63.93	256.42

Se consideraron los 500 servicios por rutas realizados durante el periodo de enero a abril del 2024 (4 meses), la base de datos completa se muestra en el siguiente enlace:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1nmmunQFiPwBhIIo6S70jGoANxeylZf95/edit?usp=sharing&ouid=100592520510385125801&rtpof=true&sd=true

Anexo 2 Pruebas de bondad de ajuste para los recorridos no productivos

Figura A. 1 *Histograma del RNP1 en la ruta 2 (R2)*

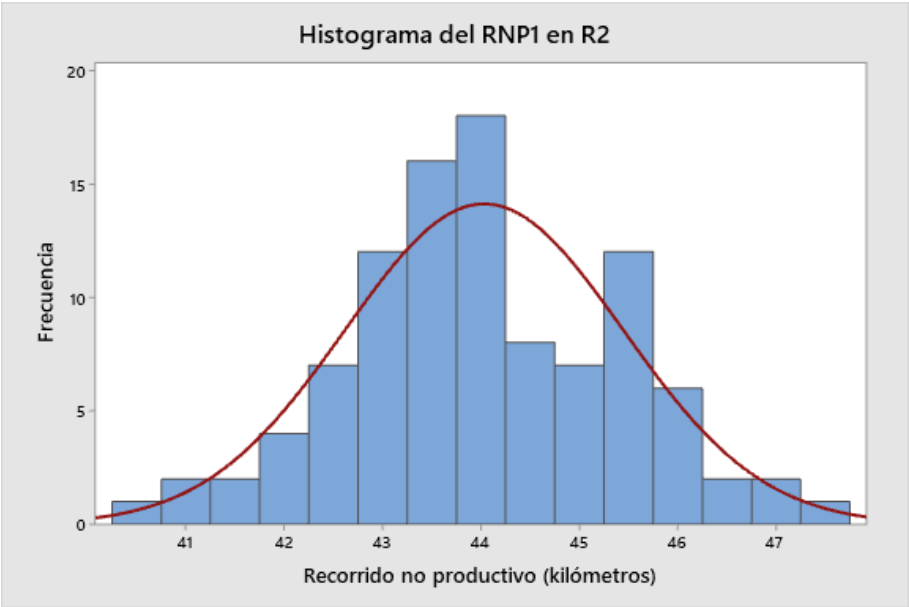


Tabla A. 2 *Distribución del RNP1 en R2 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(44, 1.41)
Error cuadrático medio:	0.0047
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.071
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 2 *Histograma del RNP2 en la ruta 2 (R2)*

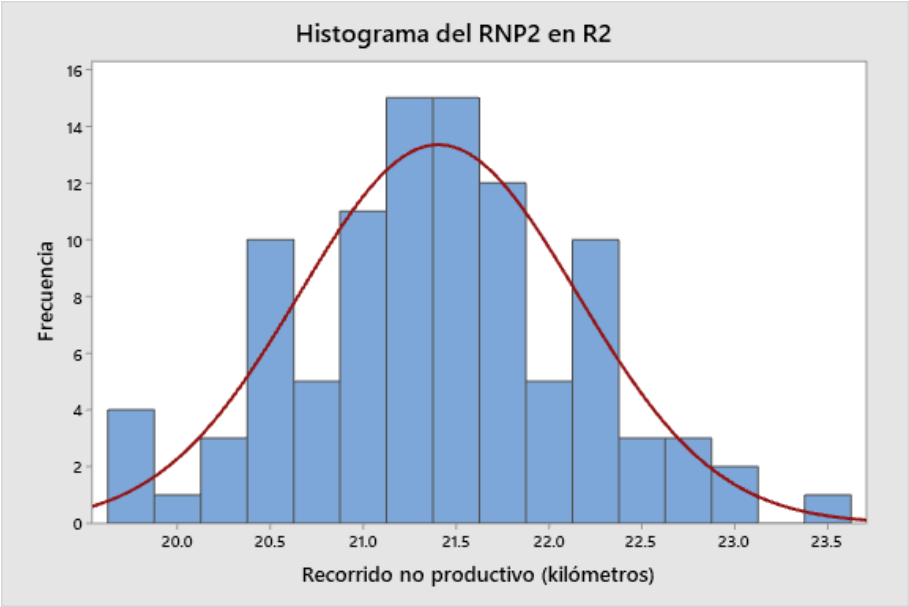


Tabla A. 3 *Distribución del RNP2 en R2 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(21.4, 0.743)
Error cuadrático medio:	0.0016
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.040
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 3 *Histograma del RNP1 en la ruta 3 (R3)*

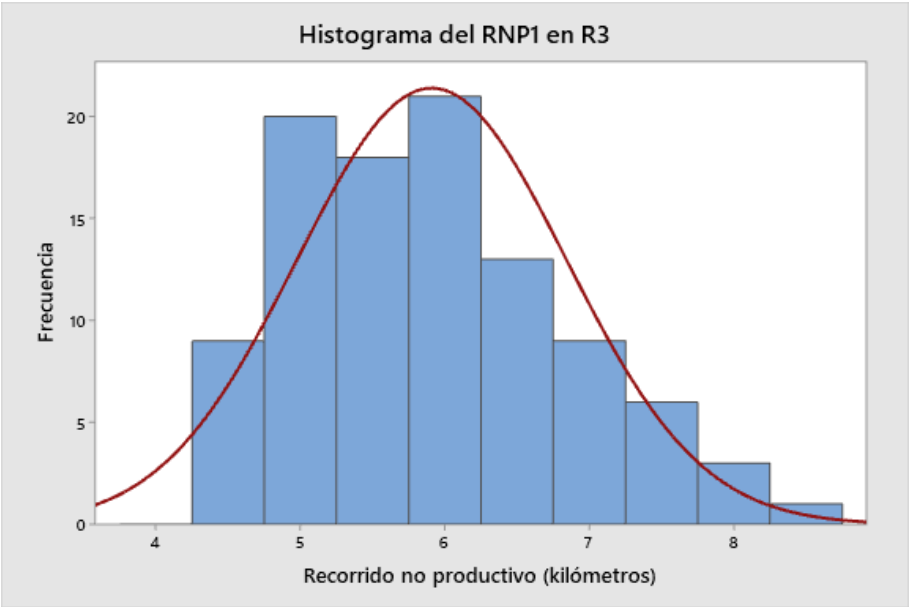


Tabla A. 4 *Distribución del RNP1 en R3 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(5.91, 0.928)
Error cuadrático medio:	0.0076
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.076
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 4 *Histograma del RNP2 en la ruta 3 (R3)*

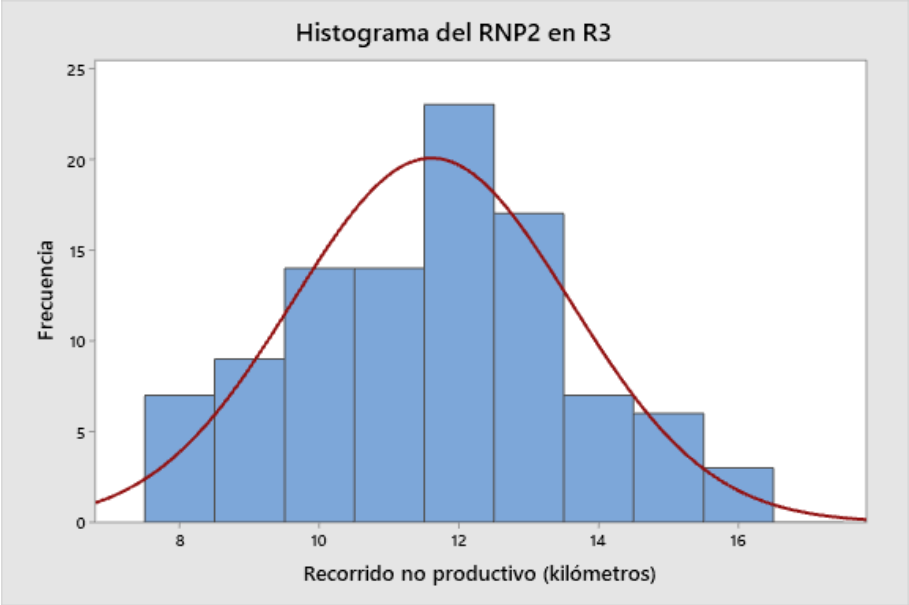


Tabla A. 5 *Distribución del RNP2 en R3 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(11.6, 1.98)
Error cuadrático medio:	0.0059
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.064
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 5 *Histograma del RNP1 en la ruta 4 (R4)*

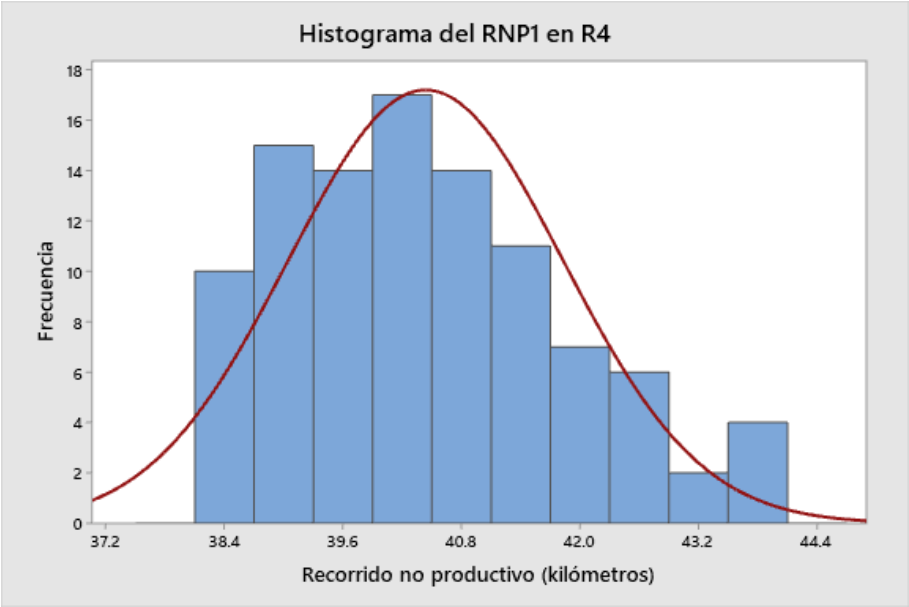


Tabla A. 6 *Distribución del RNP1 en R4 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(40.4, 1.39)
Error cuadrático medio:	0.0083
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.088
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 6 *Histograma del RNP2 en la ruta 4 (R4)*

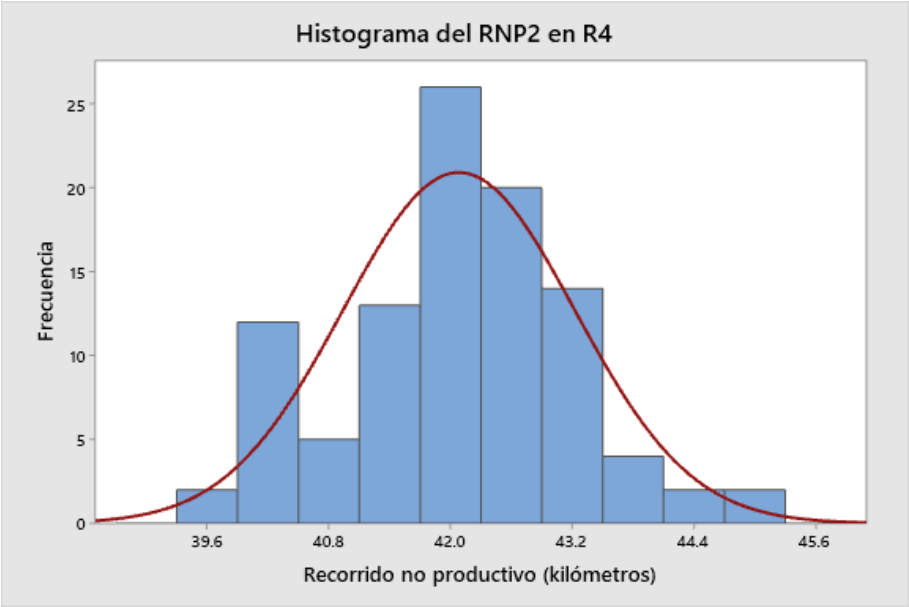


Tabla A. 7 *Distribución del RNP2 en R4 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(42.1, 1.14)
Error cuadrático medio:	0.0132
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.063
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 7 *Histograma del RNP1 en la ruta 5 (R5)*

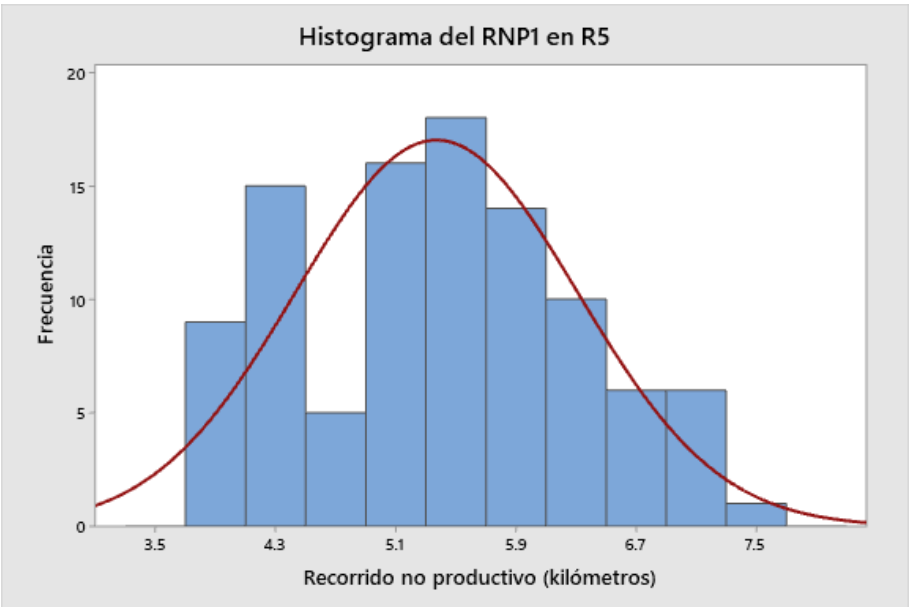


Tabla A. 8 *Distribución del RNP1 en R5 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(5.37, 0.934)
Error cuadrático medio:	0.0051
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.1
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 8 *Histograma del RNP2 en la ruta 5 (R5)*

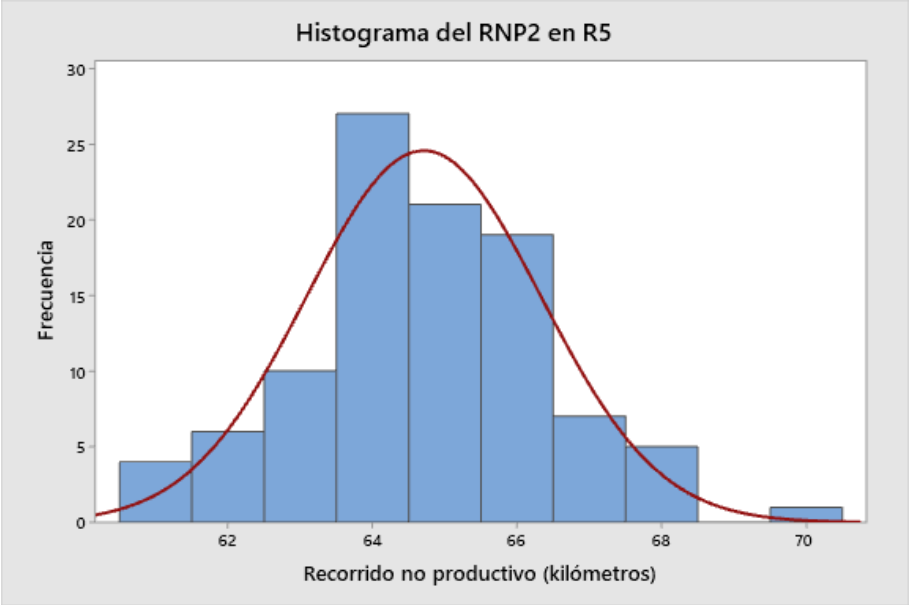


Tabla A. 9 *Distribución del RNP2 en R5 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(64.7, 1.62)
Error cuadrático medio:	0.0053
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.063
p-valor correspondiente	> 0.15

Anexo 3 Comparaciones de los recorridos no productivos por rutas

Tabla A. 10 *Comparación entre los RNP1 para las rutas i y j*

i	j	α	Diferencia	IC	T	p-valor
Ruta 1	Ruta 2	0.05	1.27	(0.87; 1.67)	6.25	0
Ruta 1	Ruta 3		39.4	(39.05; 39.74)	226.86	
Ruta 1	Ruta 4		4.87	(4.47; 5.27)	24.08	
Ruta 1	Ruta 5		39.93	(39.59; 40.28)	229.54	
Ruta 2	Ruta 3		38.12	(37.79; 38.46)	229.13	
Ruta 2	Ruta 4		3.6	(3.20; 3.99)	18.12	
Ruta 2	Ruta 5		38.66	(38.33; 39)	227.86	
Ruta 3	Ruta 4		34.53	(34.20; 34.86)	206.07	
Ruta 3	Ruta 5		0.54	(0.28; 0.80)	4.07	
Ruta 4	Ruta 5		35.07	(34.74; 35.40)	208.87	

Tabla A. 11 *p-valor de la diferencia de medias entre los RNP1 de las rutas de dos en dos*

	R1	R2	R3	R4	R5
R1	-				
R2	0	-			
R3	0	0	-		
R4	0	0	0	-	
R5	0	0	0	0	-

Tabla A. 12 *Comparación entre los RNP2 para las rutas i y j*

i	j	α	Diferencia	IC	T	p-valor
Ruta 1	Ruta 2	0.05	23.19	(22.94; 23.44)	183.13	0
Ruta 1	Ruta 3		32.99	(32.54; 33.43)	147.49	
Ruta 1	Ruta 4		2.51	(2.21; 2.81)	16.35	
Ruta 1	Ruta 5		20.12	(19.74; 20.50)	104.79	
Ruta 2	Ruta 3		9.80	(9.38; 10.22)	46.11	
Ruta 2	Ruta 4		20.68	(20.41; 20.95)	151.27	
Ruta 2	Ruta 5		43.30	(42.95; 43.66)	242.13	
Ruta 3	Ruta 4		30.48	(30.02; 30.93)	132.79	
Ruta 3	Ruta 5		53.10	(52.60; 53.61)	206.74	
Ruta 4	Ruta 5		22.63	(22.23; 23.02)	113.84	

Tabla A. 13 *p-valor de la diferencia de medias entre los RNP2 de las rutas de dos en dos*

	R1	R2	R3	R4	R5
R1	-				
R2	0	-			
R3	0	0	-		
R4	0	0	0	-	
R5	0	0	0	0	-

Anexo 4 Distribuciones de probabilidad y pruebas de hipótesis de similitud de los recorridos necesarios

Primero, se estimó las distribuciones de probabilidad de los recorridos necesarios (RN).

Figura A. 9 *Histograma del RN en R1*

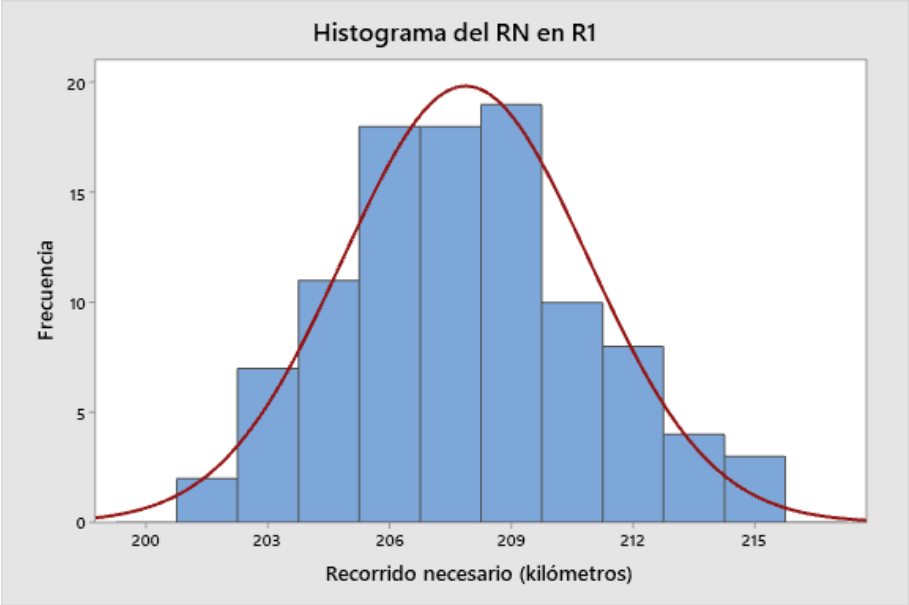


Tabla A. 14 *Distribución del RN en R1 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(208, 3)
Error cuadrático medio:	0.0029
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.0755
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 10 *Histograma del RN en R2*

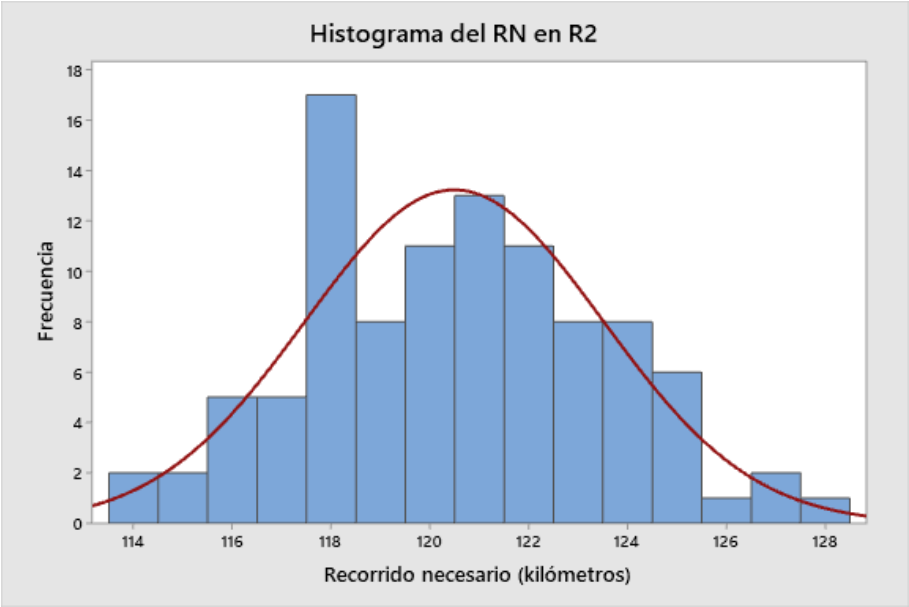


Tabla A. 15 *Distribución del RN en R2 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(120, 3)
Error cuadrático medio:	0.0018
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.0785
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 11 *Histograma del RN en R3*

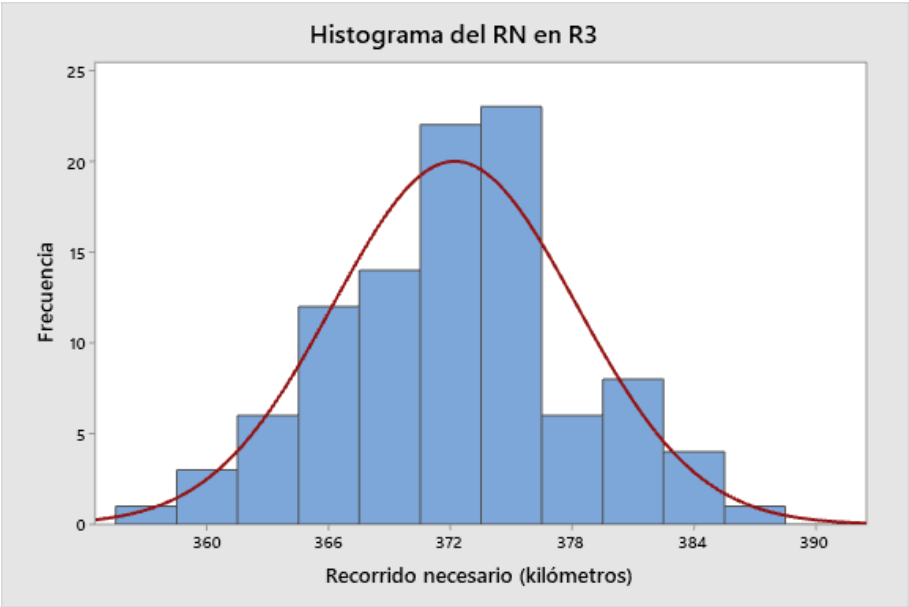


Tabla A. 16 *Distribución del RN en R3 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(372, 5.96)
Error cuadrático medio:	0.0101
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.054
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 12 *Histograma del RN en R4*

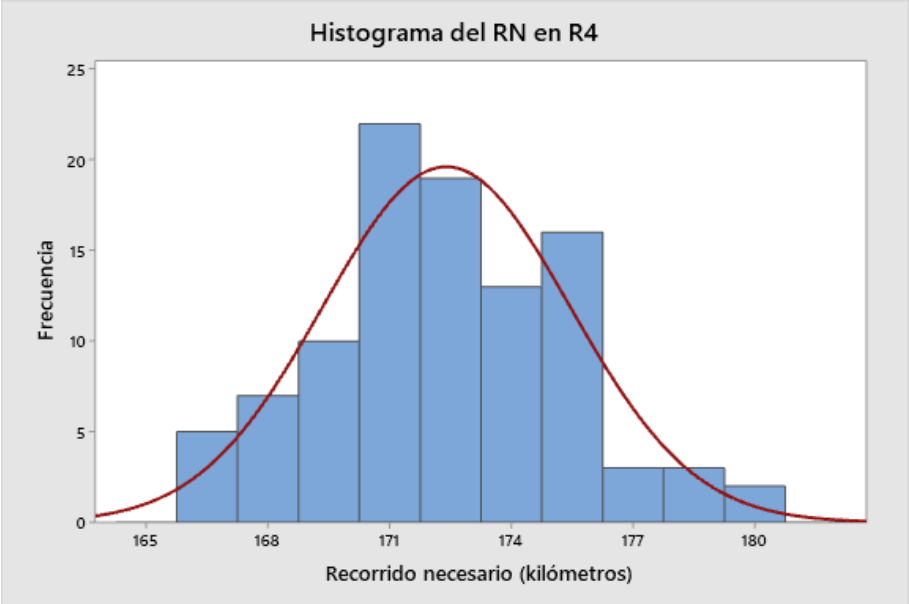


Tabla A. 17 *Distribución del RN en R4 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(172, 3.03)
Error cuadrático medio:	0.0095
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.062
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 13 *Histograma del RN en R5*

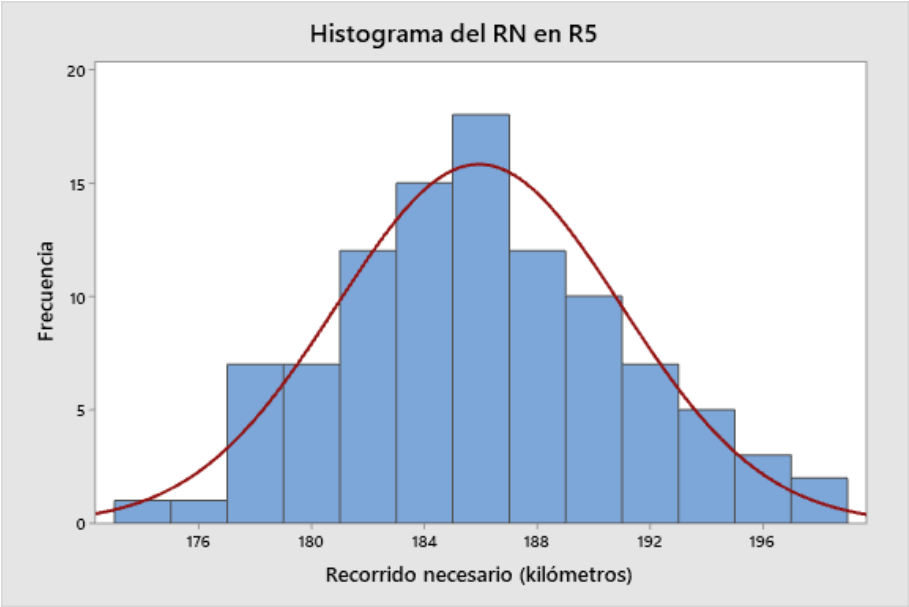


Tabla A. 18 *Distribución del RN en R5 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(186, 5.02)
Error cuadrático medio:	0.0040
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.073
p-valor correspondiente	> 0.15

Entonces, las distribuciones de probabilidad de los recorridos necesarios son:

Tabla A. 19 *Resumen de las distribuciones de los RN por rutas*

Ruta	Recorrido necesario
R1	NORM(208, 3)
R2	NORM(120, 3)
R3	NORM(372, 5.96)
R4	NORM(172, 3.03)
R5	NORM(186, 5.02)

Luego, se realizaron las pruebas de hipótesis de similitud entre los recorridos necesarios.

Tabla A. 20 *Comparación entre los RN para las rutas i y j*

i	j	α	Diferencia	IC	T	p-valor
Ruta 1	Ruta 2	0.05	1.27	(86.54; 88.22)	6.25	0
Ruta 1	Ruta 3		39.4	(163.01; 165.66)	226.86	
Ruta 1	Ruta 4		4.87	(34.63; 36.32)	24.08	
Ruta 1	Ruta 5		39.93	(20.79; 23.11)	229.54	
Ruta 2	Ruta 3		38.12	(250.39; 253.04)	229.13	
Ruta 2	Ruta 4		3.6	(51.06; 52.75)	18.12	
Ruta 2	Ruta 5		38.66	(64.28; 66.60)	227.86	
Ruta 3	Ruta 4		34.53	(198.48; 201.14)	206.07	
Ruta 3	Ruta 5		0.54	(184.73; 187.82)	4.07	
Ruta 4	Ruta 5		35.07	(12.37; 14.69)	208.87	

Tabla A. 21 *p-valor de la diferencia de medias entre los RN de las rutas de dos en dos*

	R1	R2	R3	R4	R5
R1	-				
R2	0	-			
R3	0	0	-		
R4	0	0	0	-	
R5	0	0	0	0	-

Anexo 5 Servicios por rutas en las ubicaciones factibles para el nuevo garaje

Tabla A. 22 *Servicios por rutas en las ubicaciones factibles para el nuevo garaje*

Garaje	Fecha	Ruta	RNP1	RNP2
GR1	1/05/2024	R1	40.06	38.70
GR1	1/05/2024	R2	37.34	23.37
GR1	1/05/2024	R3	1.41	7.12
GR1	1/05/2024	R4	37.41	37.44
GR1	1/05/2024	R5	6.55	61.40
GR1	2/05/2024	R1	40.20	38.25
GR1	2/05/2024	R2	37.78	22.64
GR1	2/05/2024	R3	1.80	7.57
GR1	2/05/2024	R4	36.15	38.04
GR1	2/05/2024	R5	7.52	61.02
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
GR4	30/05/2024	R1	57.92	55.21
GR4	30/05/2024	R2	54.63	13.95
GR4	30/05/2024	R3	17.26	23.74
GR4	30/05/2024	R4	52.59	54.67
GR4	30/05/2024	R5	20.98	46.05
GR4	31/05/2024	R1	57.48	55.54
GR4	31/05/2024	R2	54.11	14.51
GR4	31/05/2024	R3	17.46	24.65
GR4	31/05/2024	R4	52.37	53.91
GR4	31/05/2024	R5	21.46	45.46

Se consideraron 120 servicios por rutas realizados en la prueba piloto durante el periodo del 01 de Mayo hasta el 31 de Mayo del 2024, la base de datos completa se muestra en el siguiente enlace:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1nmmunQFiPwBhIIo6S70jGoANxeylZf95/edit?usp=sharing&ouid=100592520510385125801&rtpof=true&sd=true

Anexo 6 Pruebas de bondad de ajuste con las ubicaciones factibles

Figura A. 14 *Histograma del RNP1 en R2 con GR1*

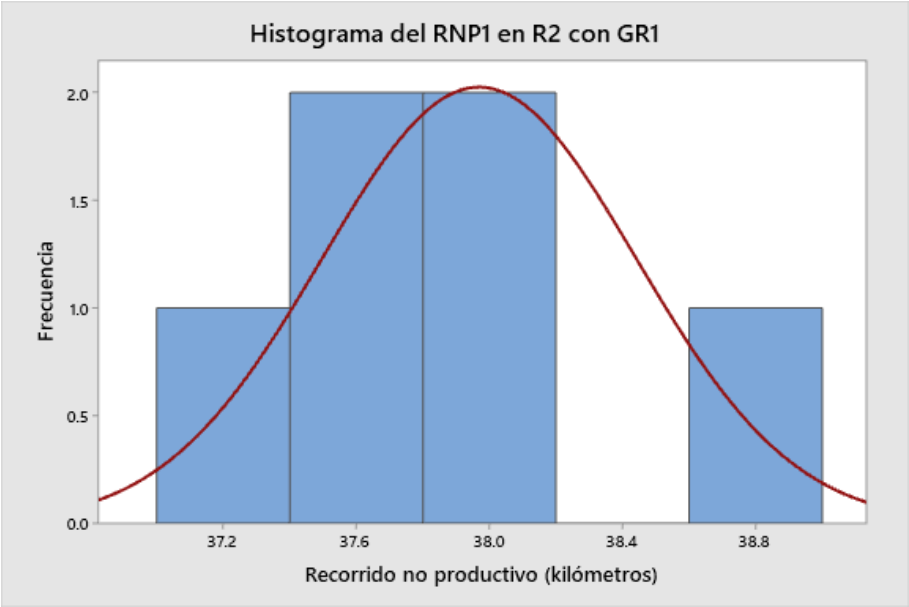


Tabla A. 23 *Distribución del RNP1 en R2 con GR1 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(38, 0.432)
Error cuadrático medio:	0.0597
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.172
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 15 *Histograma del RNP2 en R2 con GR1*

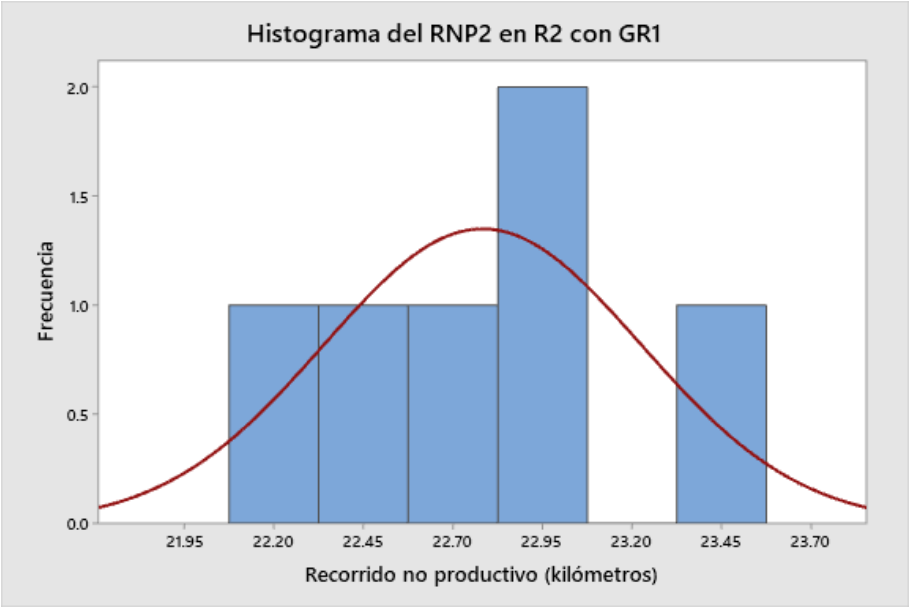


Tabla A. 24 *Distribución del RNP2 en R2 con GR1 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(22.8, 0.405)
Error cuadrático medio:	0.1074
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.21
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 16 *Histograma del RNP1 en R3 con GR1*

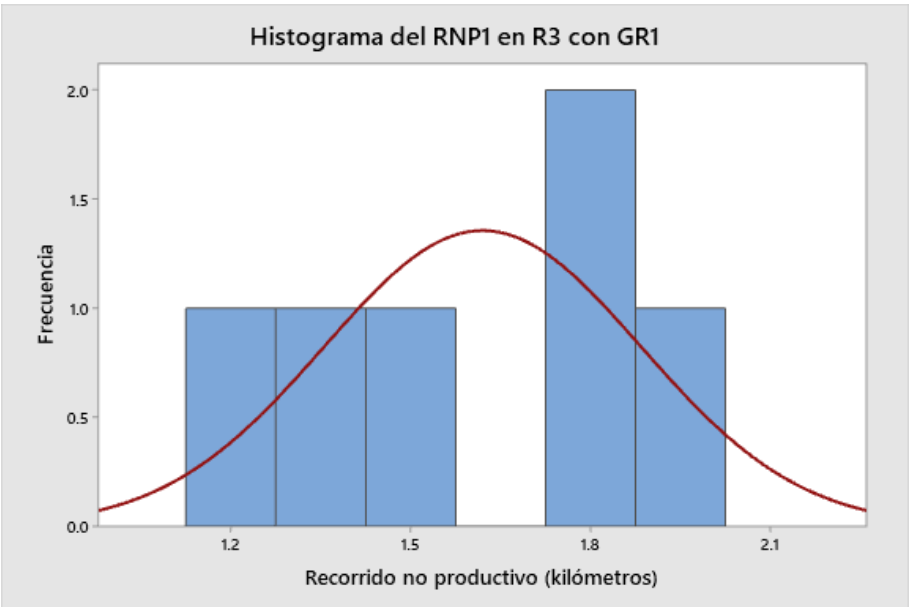


Tabla A. 25 *Distribución del RNP1 en R3 con GR1 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(1.62, 0.242)
Error cuadrático medio:	0.1321
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.268
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 17 *Histograma del RNP2 en R3 con GR1*

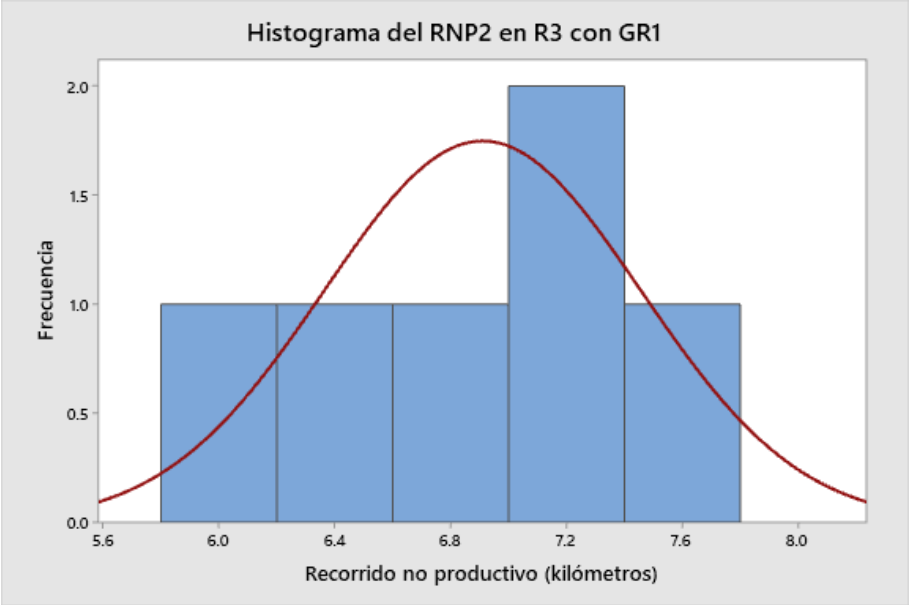


Tabla A. 26 *Distribución del RNP2 en R3 con GR1 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(6.91, 0.502)
Error cuadrático medio:	0.0293
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.219
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 18 *Histograma del RNP1 en R4 con GR1*

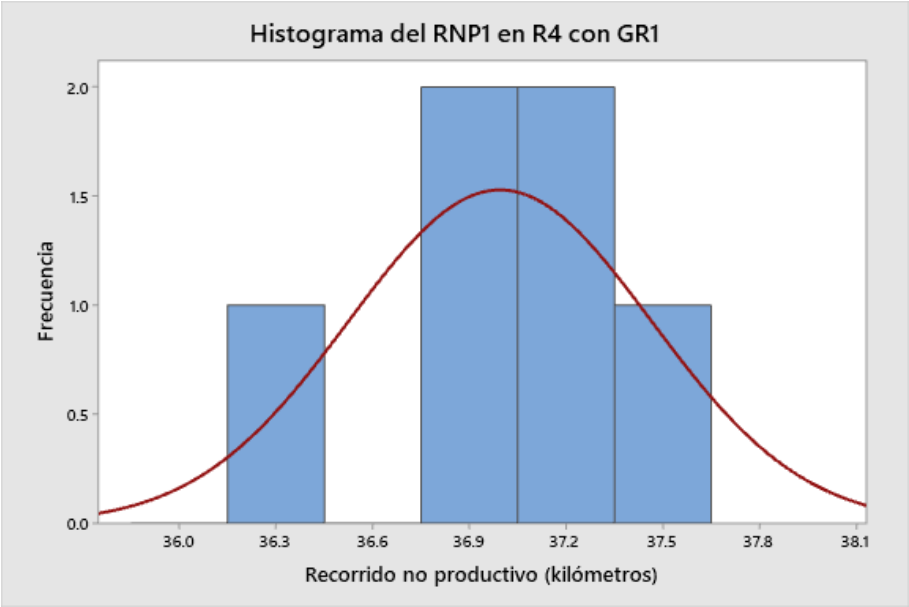


Tabla A. 27 *Distribución del RNP1 en R4 con GR1 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(37, 0.429)
Error cuadrático medio:	0.0651
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.205
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 19 *Histograma del RNP2 en R4 con GR1*

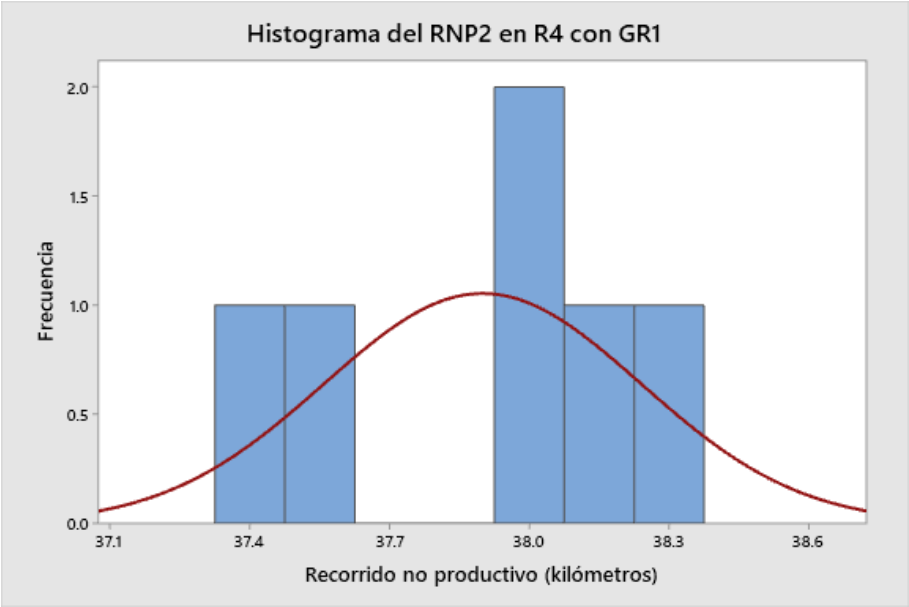


Tabla A. 28 *Distribución del RNP2 en R4 con GR1 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(37.9, 0.308)
Error cuadrático medio:	0.2316
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.275
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 20 *Histograma del RNP1 en R5 con GR1*

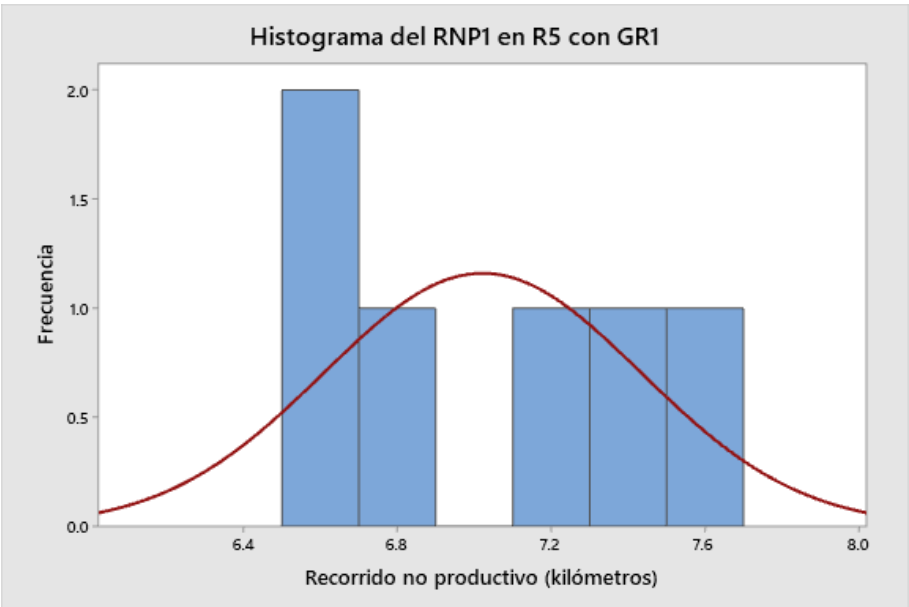


Tabla A. 29 *Distribución del RNP1 en R5 con GR1 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(7.02, 0.375)
Error cuadrático medio:	0.1576
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.27
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 21 *Histograma del RNP2 en R5 con GR1*

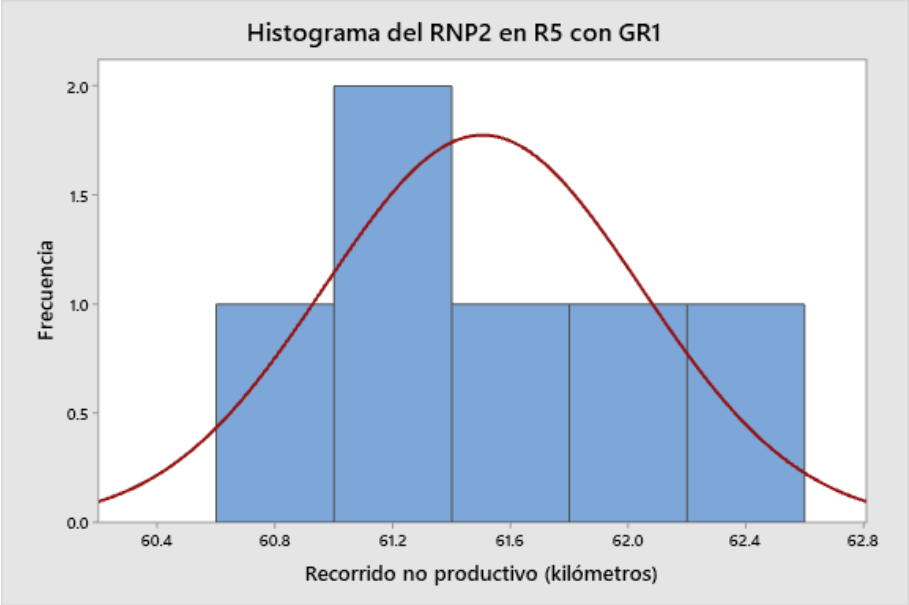


Tabla A. 30 *Distribución del RNP2 en R5 con GR1 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(61.5, 0.491)
Error cuadrático medio:	0.0887
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.25
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 22 *Histograma del RNP1 en R2 con GR2*

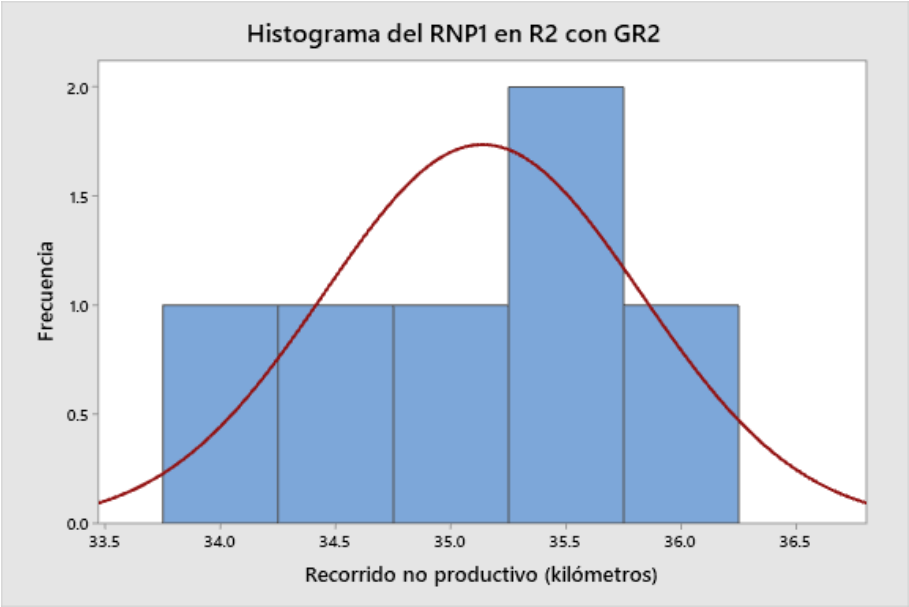


Tabla A. 31 *Distribución del RNP1 en R2 con GR2 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(35.1, 0.63)
Error cuadrático medio:	0.0169
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.186
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 23 *Histograma del RNP2 en R2 con GR2*

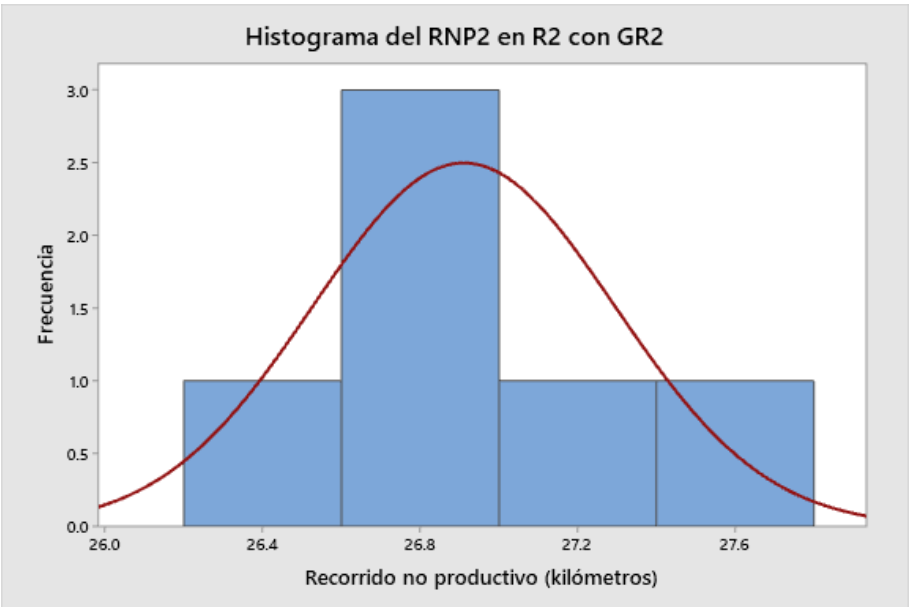


Tabla A. 32 *Distribución del RNP2 en R2 con GR2 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(26.9, 0.35)
Error cuadrático medio:	0.0184
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.225
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 24 *Histograma del RNP1 en R3 con GR2*

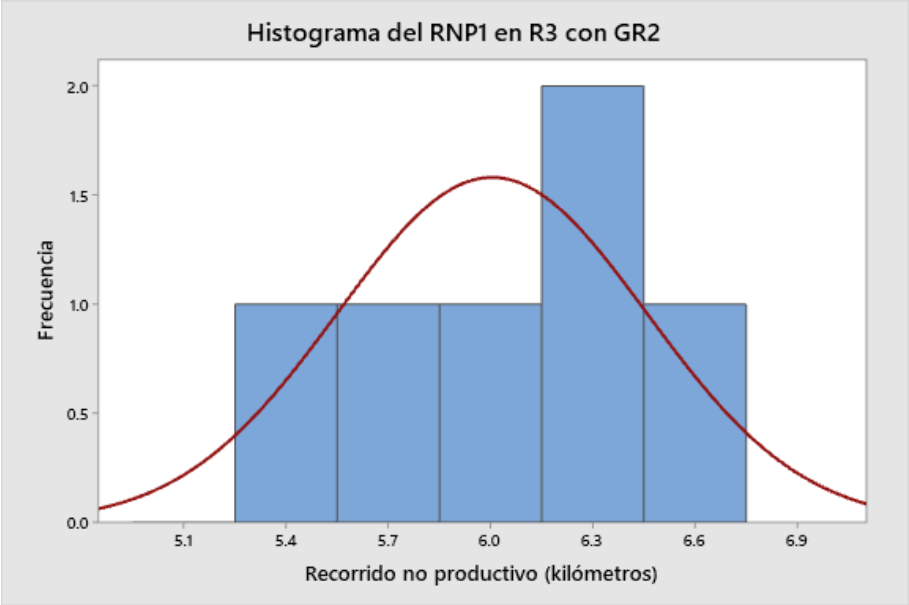


Tabla A. 33 *Distribución del RNP1 en R3 con GR2 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(6, 0.414)
Error cuadrático medio:	0.0874
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.163
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 25 *Histograma del RNP2 en R3 con GR2*

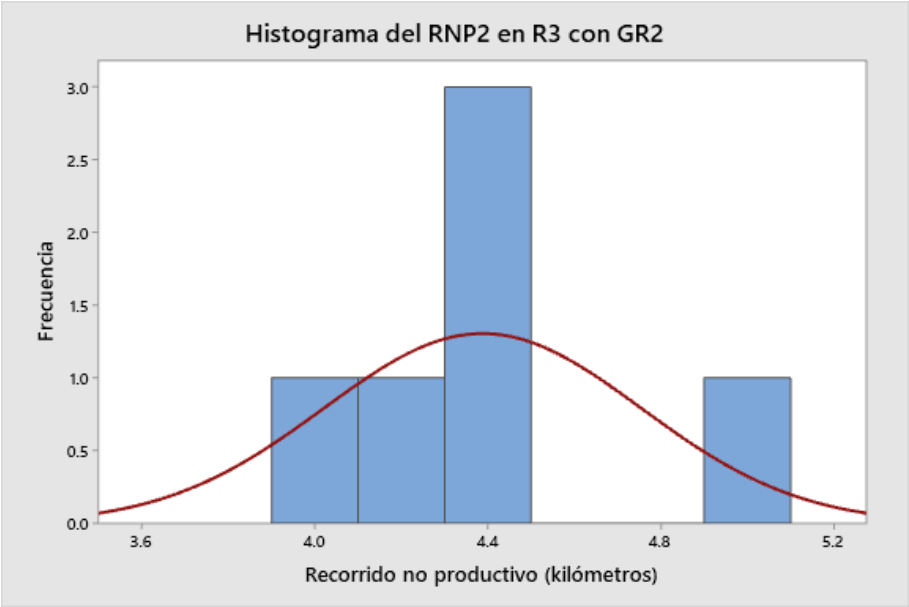


Tabla A. 34 *Distribución del RNP2 en R3 con GR2 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(4.39, 0.335)
Error cuadrático medio:	0.0507
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.345
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 26 *Histograma del RNP1 en R4 con GR2*

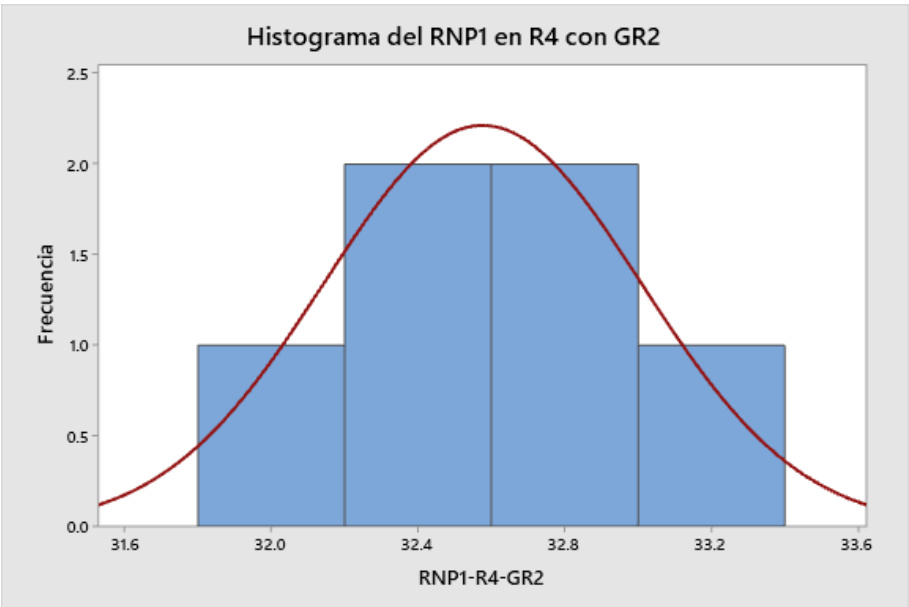


Tabla A. 35 *Distribución del RNP1 en R4 con GR2 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(32.6, 0.395)
Error cuadrático medio:	0.0915
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.159
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 27 *Histograma del RNP2 en R4 con GR2*

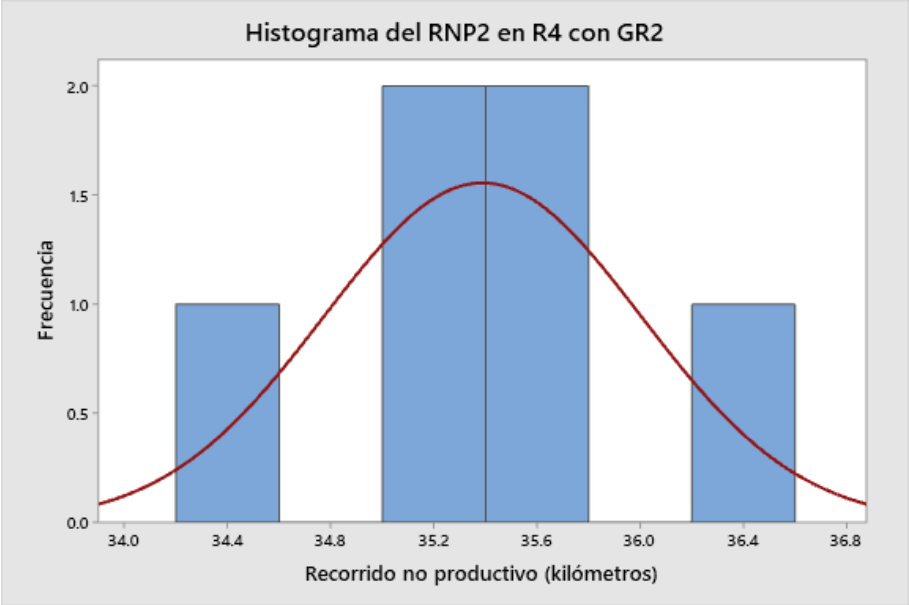


Tabla A. 36 *Distribución del RNP2 en R4 con GR2 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(35.4, 0.561)
Error cuadrático medio:	0.0957
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.296
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 28 *Histograma del RNP1 en R5 con GR2*

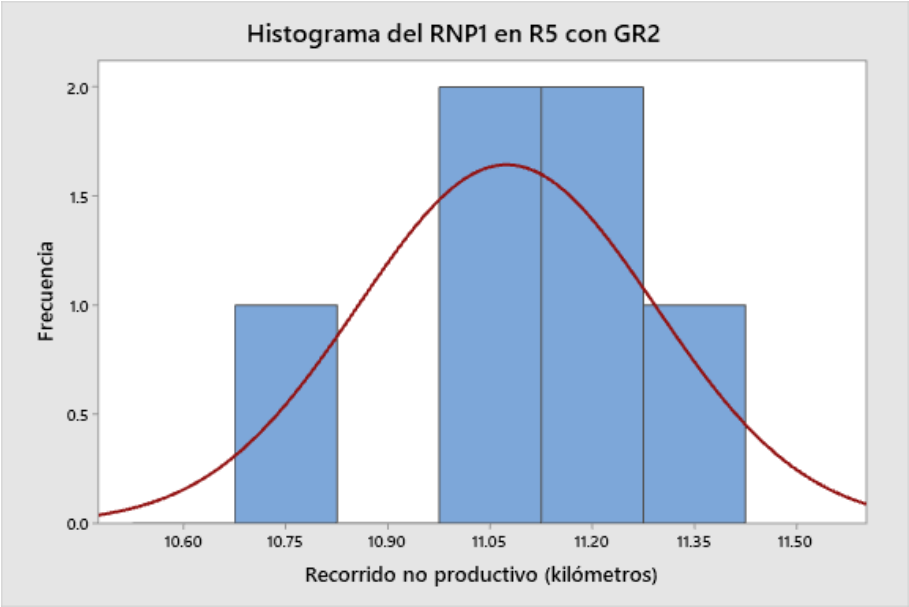


Tabla A. 37 *Distribución del RNP1 en R5 con GR2 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(11.1, 0.198)
Error cuadrático medio:	0.0957
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.235
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 29 *Histograma del RNP2 en R5 con GR2*

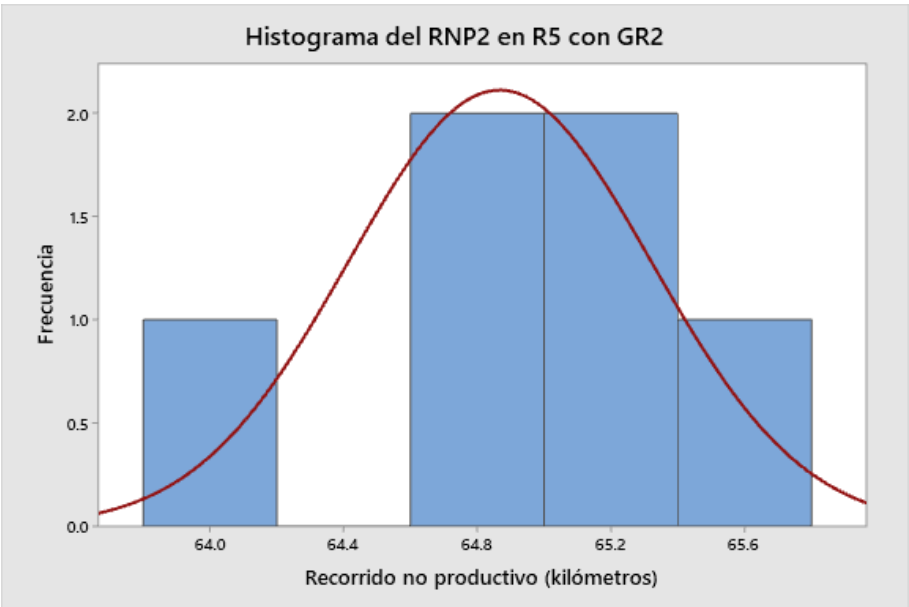


Tabla A. 38 *Distribución del RNP2 en R5 con GR2 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(64.9, 0.414)
Error cuadrático medio:	0.0532
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.187
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 30 *Histograma del RNP1 en R2 con GR3*

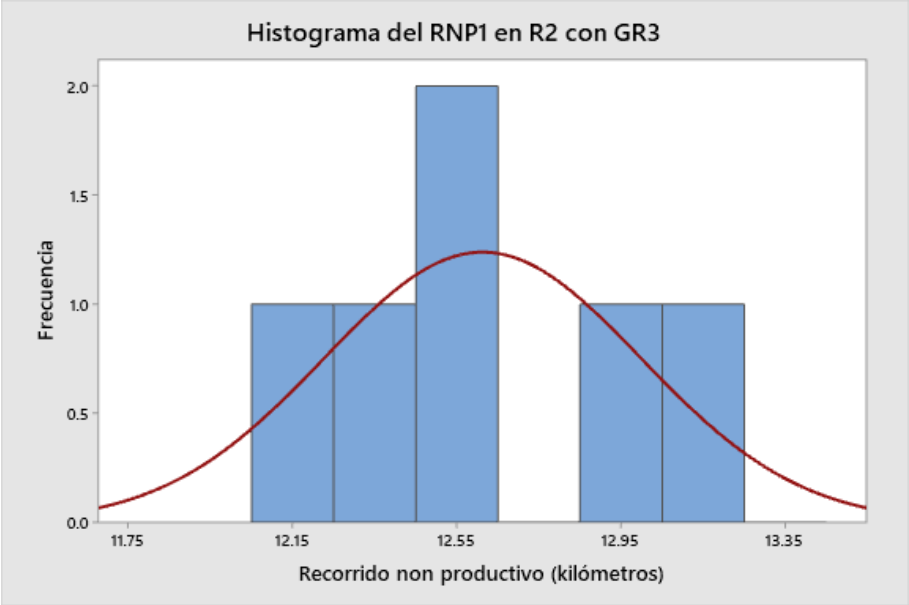


Tabla A. 39 *Distribución del RNP1 en R2 con GR3 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(12.6, 0.354)
Error cuadrático medio:	0.0645
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.15
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 31 *Histograma del RNP2 en R2 con GR3*

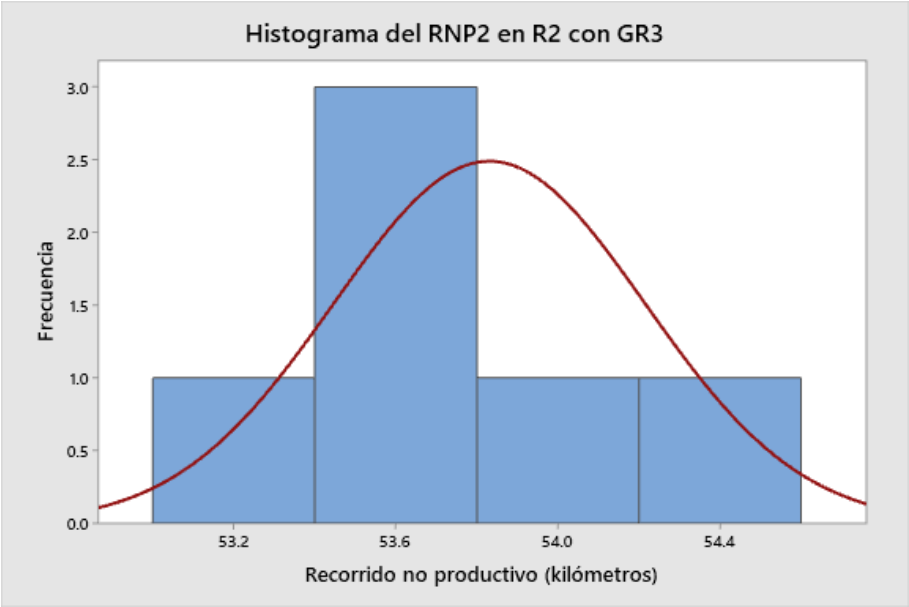


Tabla A. 40 *Distribución del RNP2 en R2 con GR3 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(53.8, 0.354)
Error cuadrático medio:	0.1091
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.275
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 32 *Histograma del RNP1 en R3 con GR3*

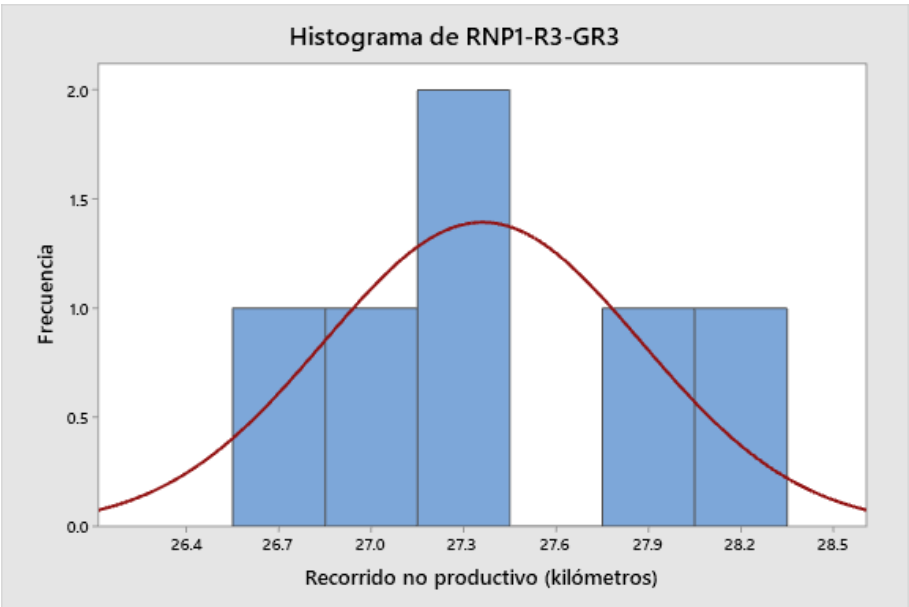


Tabla A. 41 *Distribución del RNP1 en R3 con GR3 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(27.4, 0.473)
Error cuadrático medio:	0.1121
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.294
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 33 *Histograma del RNP2 en R3 con GR3*

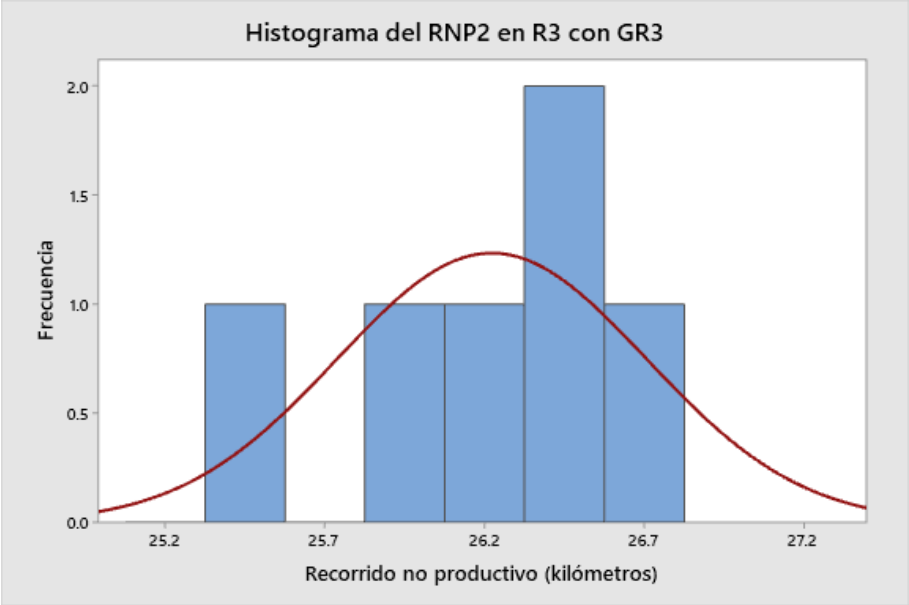


Tabla A. 42 *Distribución del RNP2 en R3 con GR3 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(26.2, 0.441)
Error cuadrático medio:	0.0761
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.183
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 34 *Histograma del RNP1 en R4 con GR3*

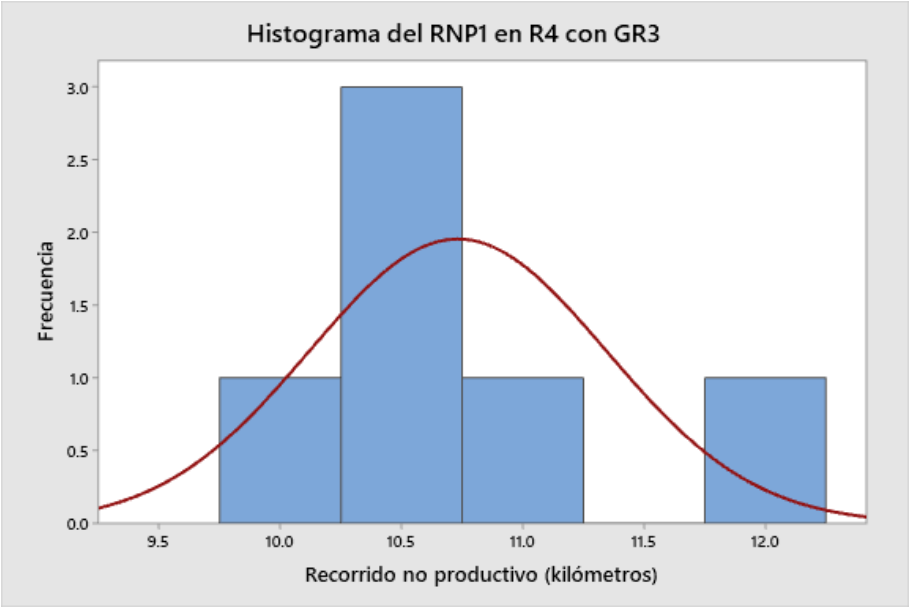


Tabla A. 43 *Distribución del RNP1 en R4 con GR3 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(10.7, 0.559)
Error cuadrático medio:	0.0705
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.136
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 35 *Histograma del RNP2 en R4 con GR3*

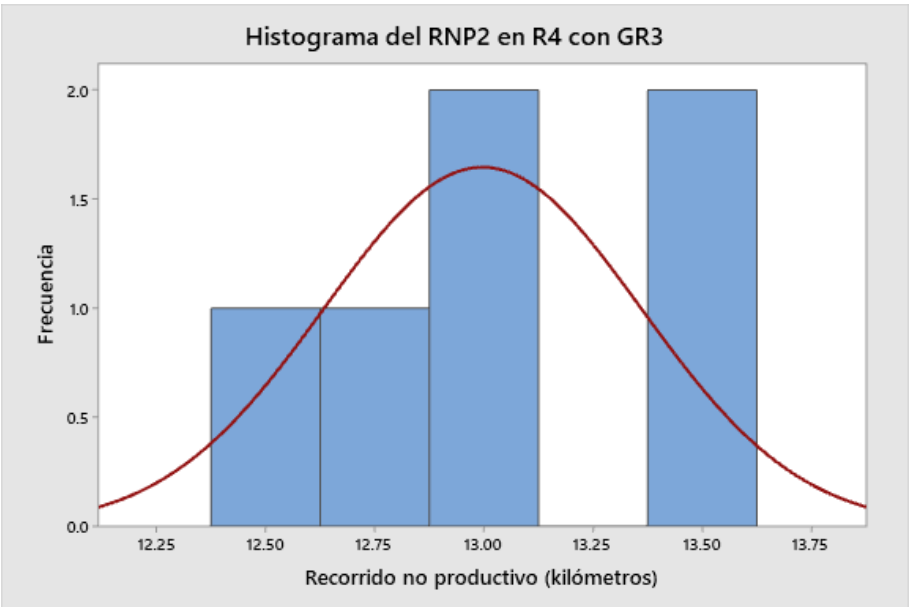


Tabla A. 44 *Distribución del RNP2 en R4 con GR3 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(13, 0.333)
Error cuadrático medio:	0.1407
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.226
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 36 *Histograma del RNP1 en R5 con GR3*

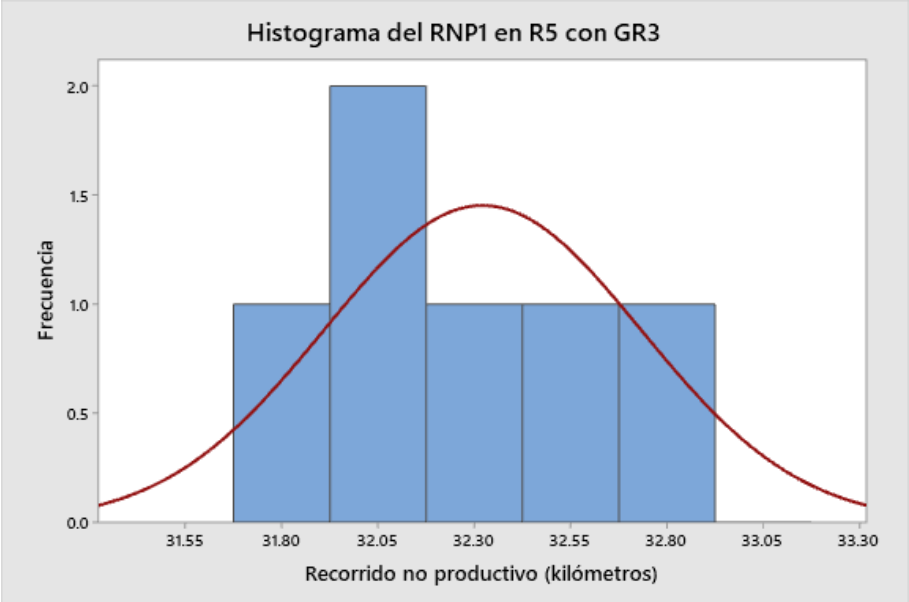


Tabla A. 45 *Distribución del RNP1 en R5 con GR3 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(32.3, 0.376)
Error cuadrático medio:	0.0576
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.22
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 37 *Histograma del RNP2 en R5 con GR3*

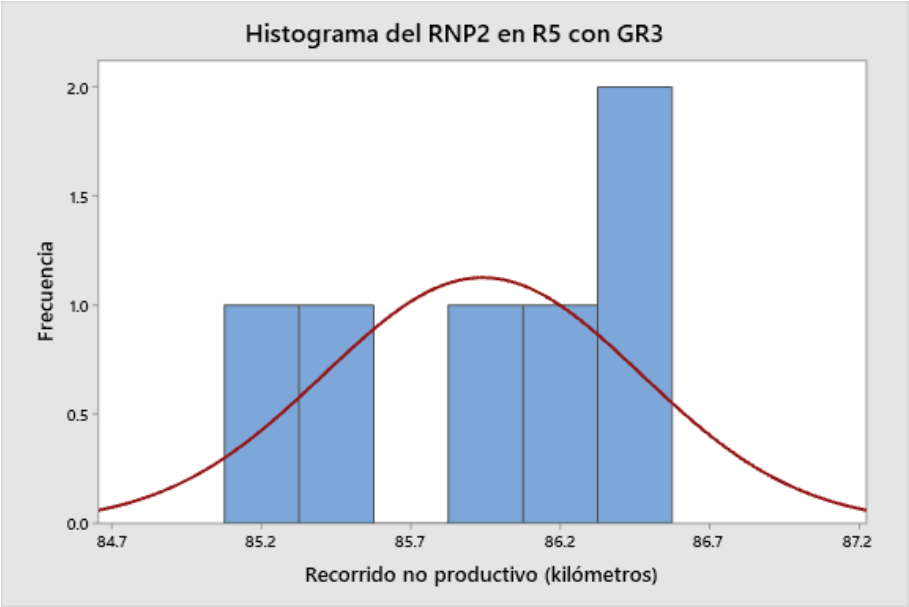


Tabla A. 46 *Distribución del RNP2 en R5 con GR3 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(85.9, 0.483)
Error cuadrático medio:	0.1909
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.26
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 38 *Histograma del RNP1 en R2 con GR4*

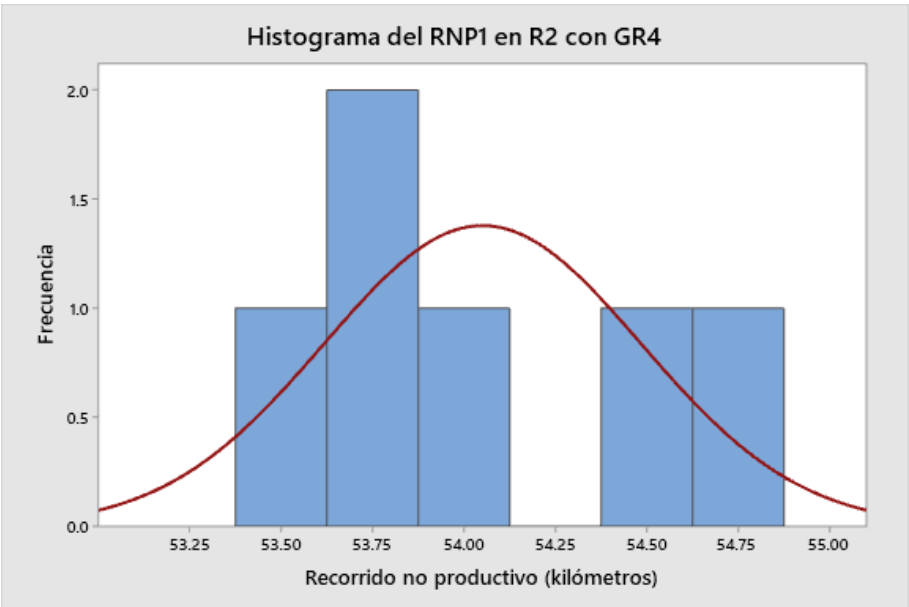


Tabla A. 47 *Distribución del RNP1 en R2 con GR4 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(54.1, 0.395)
Error cuadrático medio:	0.1126
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.266
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 39 *Histograma del RNP2 en R2 con GR4*

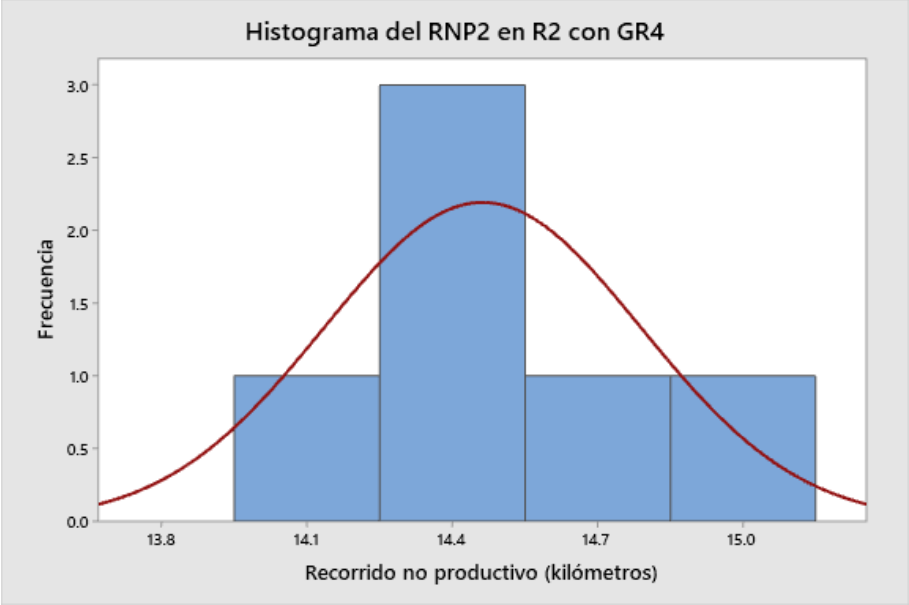


Tabla A. 48 *Distribución del RNP2 en R2 con GR4 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(14.5, 0.298)
Error cuadrático medio:	0.0191
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.219
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 40 *Histograma del RNP1 en R3 con GR4*

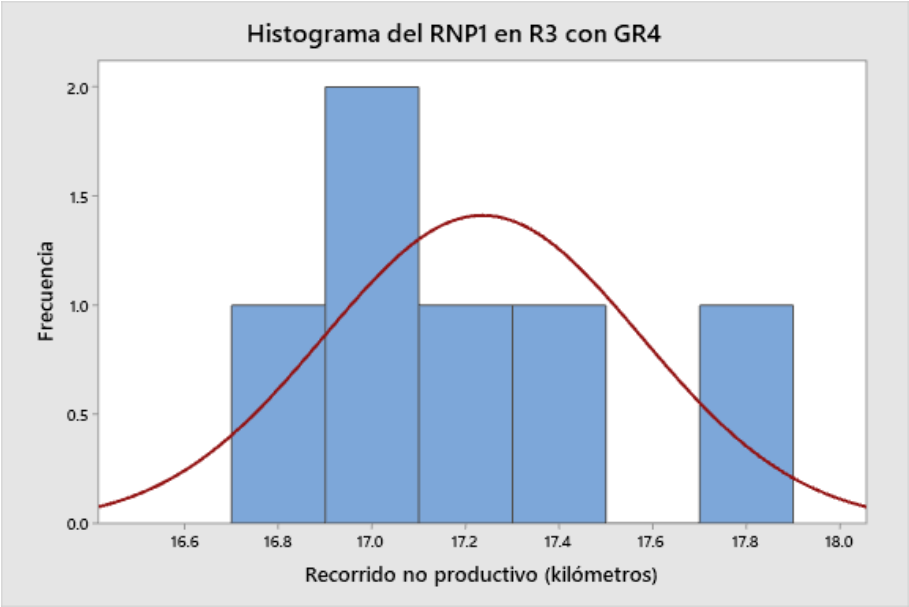


Tabla A. 49 *Distribución del RNP1 en R3 con GR4 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(17.2, 0.311)
Error cuadrático medio:	0.0571
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.269
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 41 *Histograma del RNP2 en R3 con GR4*

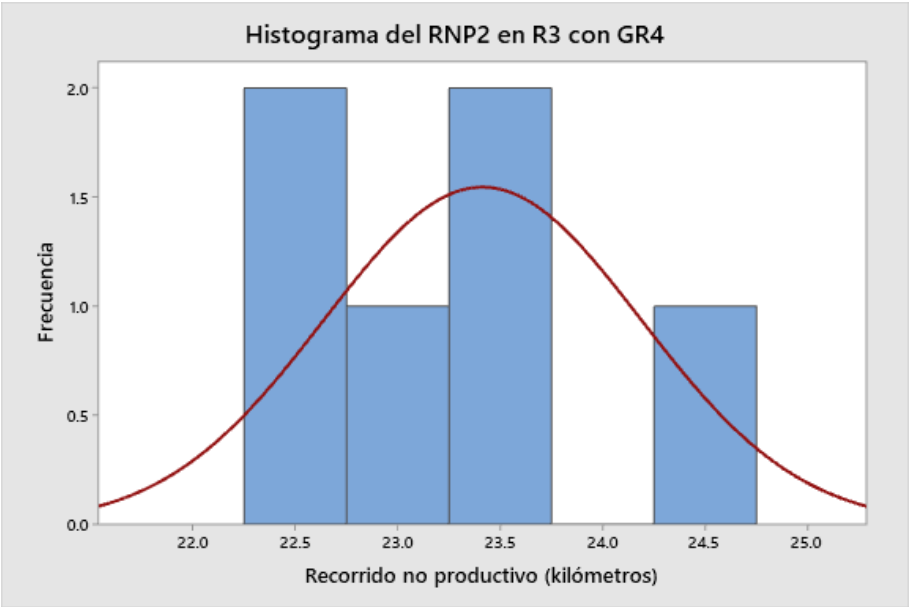


Tabla A. 50 *Distribución del RNP2 en R3 con GR4 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(23.4, 0.706)
Error cuadrático medio:	0.0793
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.303
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 42 *Histograma del RNP1 en R4 con GR4*

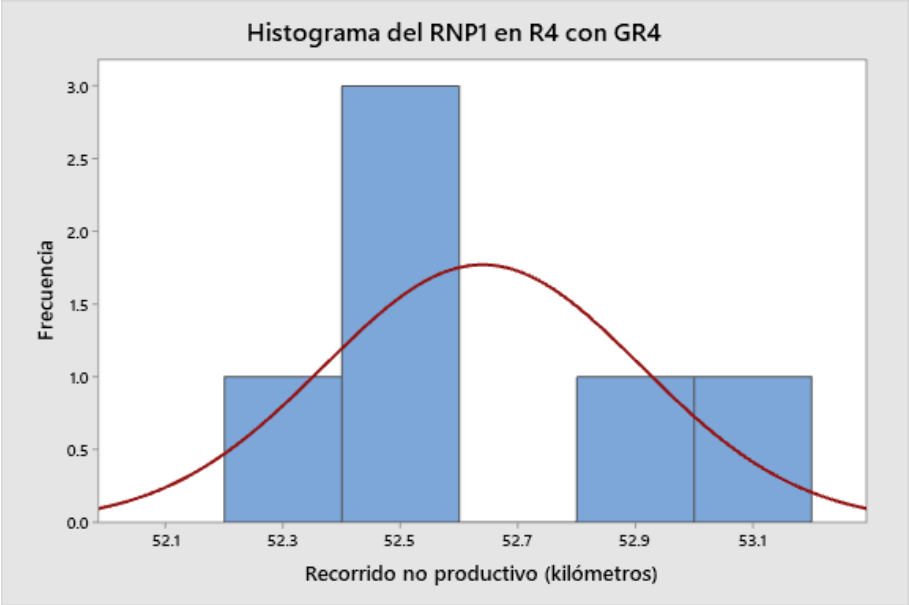


Tabla A. 51 *Distribución del RNP1 en R4 con GR4 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(52.6, 0.246)
Error cuadrático medio:	0.1128
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.302
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 43 *Histograma del RNP2 en R4 con GR4*

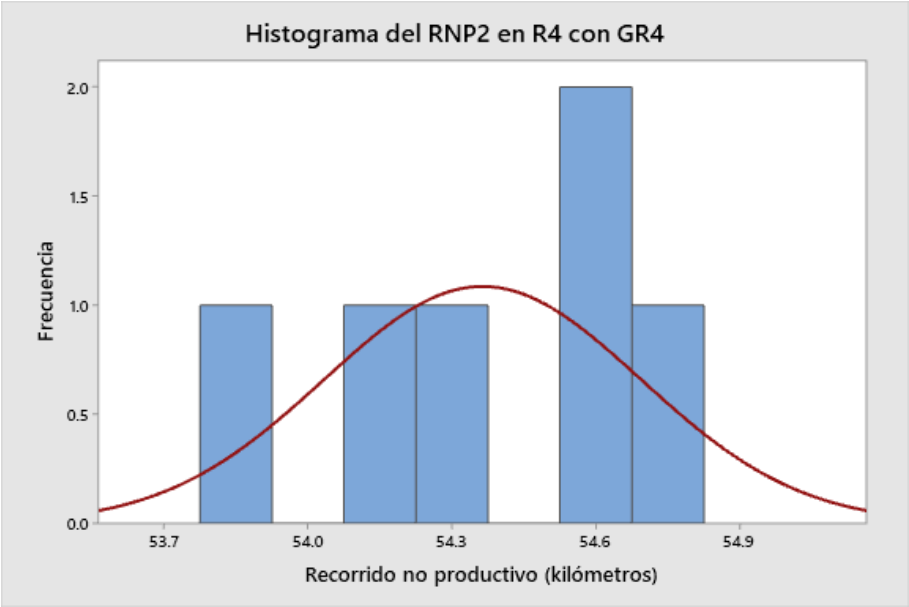


Tabla A. 52 *Distribución del RNP2 en R4 con GR4 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(54.4, 0.303)
Error cuadrático medio:	0.0513
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.26
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 44 *Histograma del RNP1 en R5 con GR4*

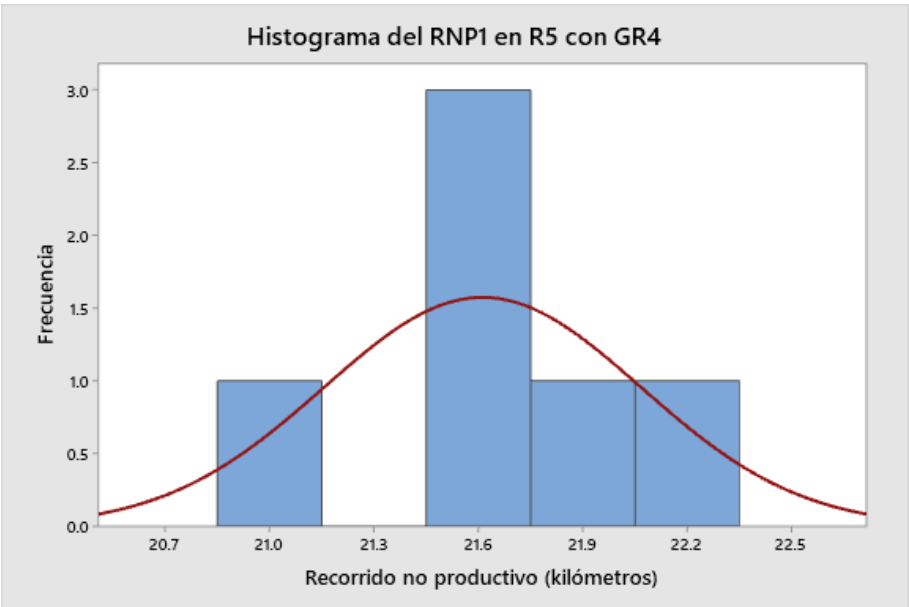


Tabla A. 53 *Distribución del RNP1 en R5 con GR4 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(21.6, 0.416)
Error cuadrático medio:	0.0391
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.269
p-valor correspondiente	> 0.15

Figura A. 45 *Histograma del RNP2 en R5 con GR4*

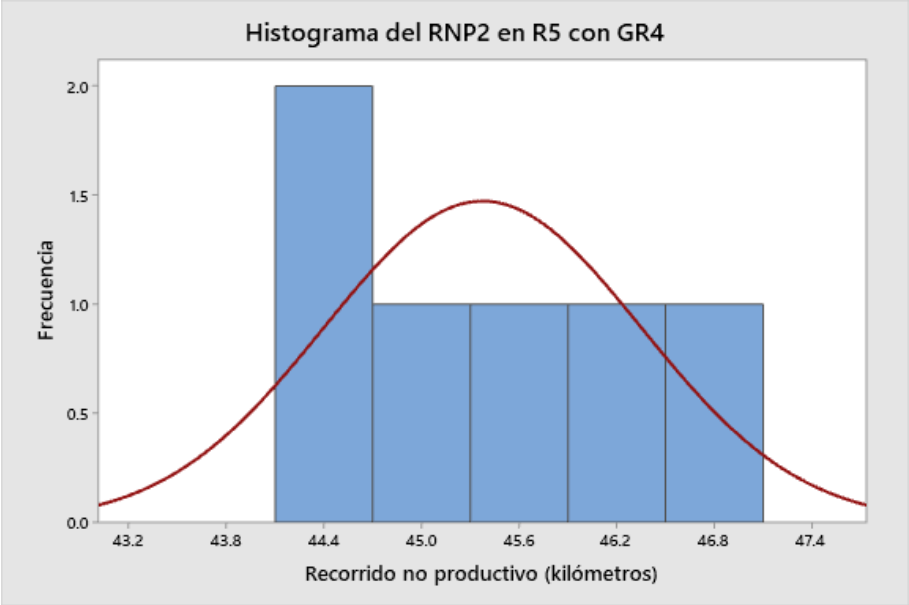


Tabla A. 54 *Distribución del RNP2 en R5 con GR4 mediante Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(45.4, 0.89)
Error cuadrático medio:	0.0487
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.238
p-valor correspondiente	> 0.15

Anexo 7 Adaptación del modelo de simulación I con GR2, GR3 y GR4

Garaje en la ubicación factible 2 (GR2)

Para adaptar el modelo de simulación I con el garaje en la ubicación factible 2, se elaboró de forma análoga al proceso del escenario anterior (GR1).

Al iniciar se estimó la distribución del recorrido no productivo inicial para la ruta 1 con el garaje en la ubicación factible 2.

Las hipótesis son las siguientes:

H_0: *Los datos de los RNP1 en R1 con GR2 tienen una distribución Normal*

H_1: *Los datos de los RNP1 en R1 con GR2 no tienen una distribución Normal*

Figura A. 46 *Histograma del RNP1 en R1 con GR2*

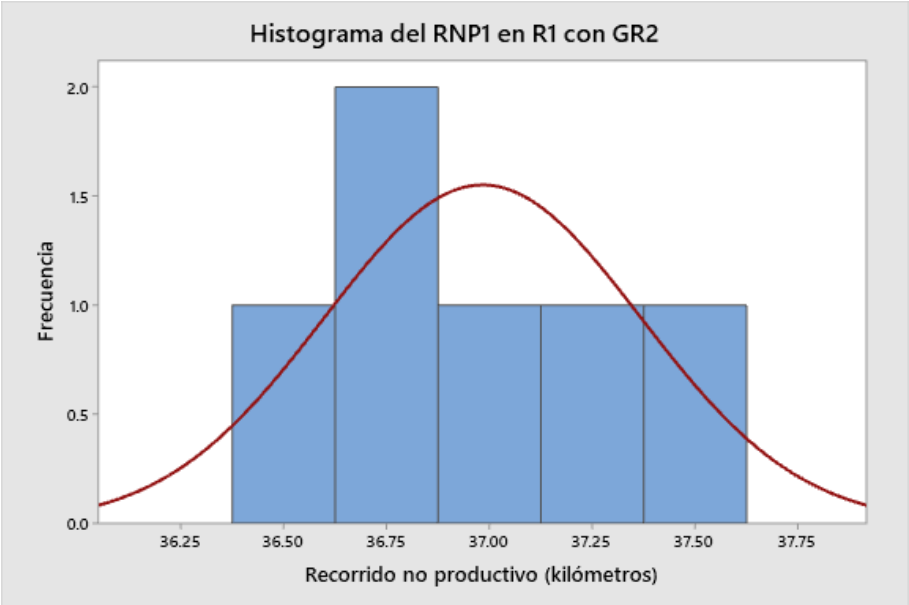


Tabla A. 55 *Distribución del RNP1 para R1 con GR2 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución	Normal
Expresión	NORM(37, 0.353)
Error cuadrático medio	0.0528
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.316
p-valor correspondiente	> 0.15

Del histograma en la Figura A. 46 y la prueba de bondad de ajuste en la Tabla A. 55 se obtiene un $p > 0.15$, por lo que no se rechaza la hipótesis nula que señala que los datos tienen una distribución Normal, en otras palabras, el recorrido no productivo inicial para la ruta 1 con el garaje en la ubicación factible 2, es una normal con media 37 y desviación estándar 0.353.

Después se estimó la distribución del recorrido no productivo final para la ruta 1 con el garaje en la ubicación factible 2.

Figura A. 47 *Histograma del RNP2 en R1 con GR2*

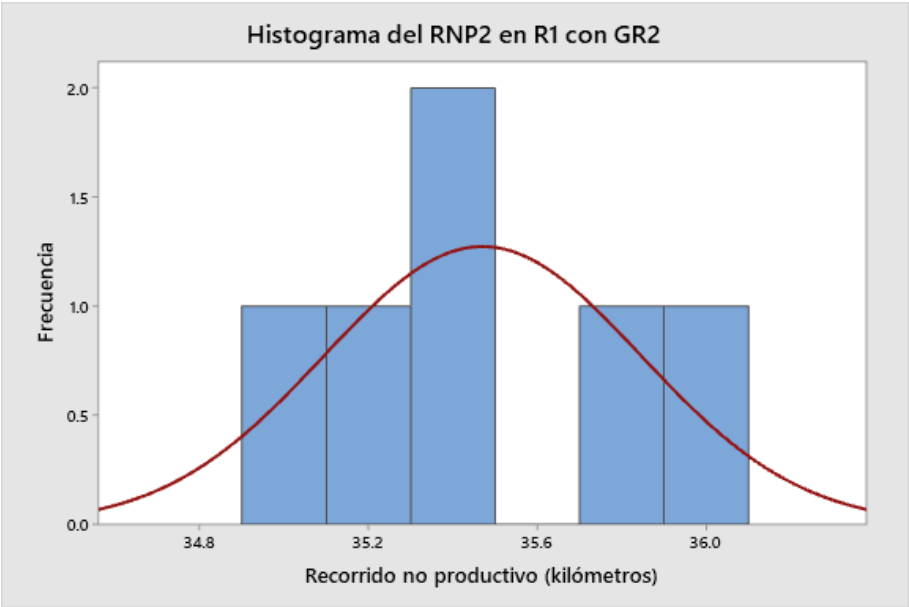


Tabla A. 56 *Distribución del RNP2 para R1con GR2 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(35.5, 0.343)
Error cuadrático medio:	0.0175
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.238
p-valor correspondiente	> 0.15

Del histograma en la Figura A. 47 y la prueba de bondad de ajuste en la Tabla A. 56 se obtiene un $p > 0.15$, por lo que no se rechaza la hipótesis nula, que indica que los datos tienen una distribución Normal, en otras palabras, el recorrido no productivo final para la ruta 1 con el garaje en la ubicación factible 2, es una normal con media 35.5 y desviación estándar 0.343.

En el Anexo 6, también se muestran los histogramas y los reportes de las pruebas de bondad de ajuste para las distribuciones de los recorridos no productivos en las demás rutas, recapitulando se obtuvo el resumen de las distribuciones, como se expone en la Tabla A. 57.

Tabla A. 57 *Resumen de las distribuciones de los RNP por rutas con el GR2*

Ruta	Recorridos no productivos iniciales (RNP1)	Recorridos no productivos finales (RNP2)
R1	NORM(37, 0.353)	NORM(35.5, 0.343)
R2	NORM(35.1, 0.63)	NORM(26.9, 0.35)
R3	NORM(6, 0.414)	NORM(4.39, 0.335)
R4	NORM(32.6, 0.395)	NORM(35.4, 0.561)
R5	NORM(11.1, 0.198)	NORM(64.9, 0.414)

Posteriormente, se elaboró una prueba de diferencias de medias entre los recorridos no productivos reales recolectados durante la prueba piloto y los de las simuladas. En la Tabla A. 58 se muestran los p-valores de las pruebas de diferencia de medias para corroborar que los

recorridos obtenidos en la prueba piloto para cada ubicación factible son similares a los valores simulados con el modelo para la ubicación factible 2.

Tabla A. 58 *p-valor de la diferencia de medias entre los RNP de la prueba piloto y los de recorridos simulados con el GR2*

Recorrido no productivo inicial					
Real	Estimado				
	R1	R2	R3	R4	R5
R1	0.92				
R2		0.90			
R3			0.98		
R4				0.90	
R5					0.78
Recorrido no productivo final					
Real	Estimado				
	R1	R2	R3	R4	R5
R1	0.85				
R2		0.95			
R3			0.99		
R4				0.97	
R5					0.87

Finalmente, se adaptó el modelo de simulación I con el garaje en la ubicación factible 2 como se presenta en la Figura 18, donde se puede ver cómo cambian los módulos tanto en nombre como atributos ya que los servicios inician y terminan en la ubicación factible 2 y utilizan las distribuciones estimadas en la Tabla A. 57.

Garaje en la ubicación factible 3 (GR3)

A fin de adaptar el modelo de simulación I con el garaje en la ubicación factible 3, se realizó de forma análoga al proceso del escenario anterior (GR1).

Primero se estimó la distribución del recorrido no productivo inicial para la ruta 1 con el garaje en la ubicación factible 3.

Las hipótesis son las siguientes:

H_0: *Los datos de los RNP1 en R1 con GR3 tienen una distribución Normal*

H_1: *Los datos de los RNP1 en R1 con GR3 no tienen una distribución Normal*

Figura A. 48 *Histograma del RNP1 en R1 con GR3*

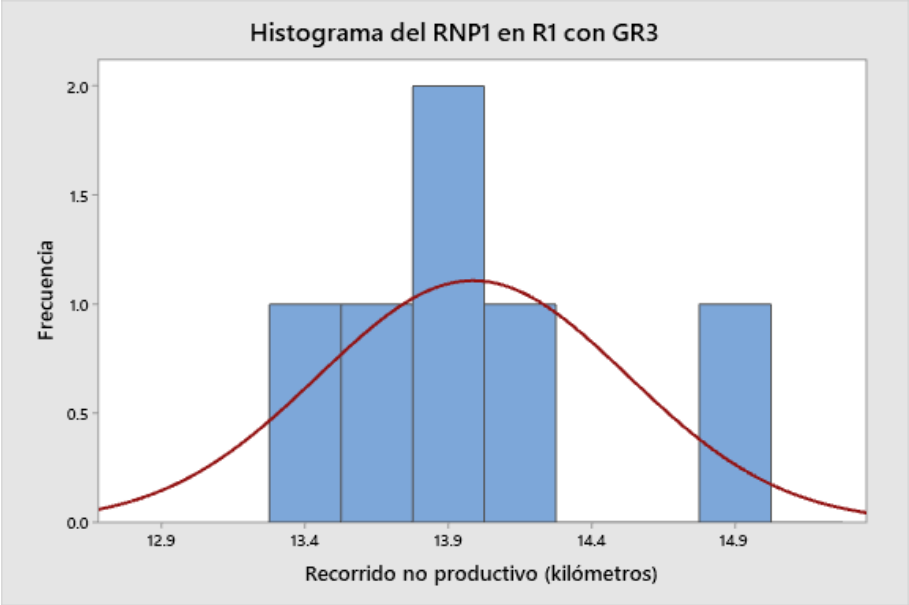


Tabla A. 59 *Distribución del RNP1 en R1con GR3 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(14, 0.494)
Error cuadrático medio:	0.1676
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.346
p-valor correspondiente	> 0.15

Del histograma en la Figura A. 48 y la prueba de bondad de ajuste en la Tabla A. 59 resulta un $p > 0.15$, por lo que no se rechaza la hipótesis nula que señala que los datos tienen una distribución Normal, es decir, el recorrido no productivo inicial para la ruta 1 con el garaje en la ubicación factible 3, es una normal con media 14 y desviación estándar 0.494.

Seguidamente se estimó la distribución del recorrido no productivo final para la ruta 1 con el garaje en la ubicación factible 3.

Figura A. 49 *Histograma del RNP2 en R1 con GR3*

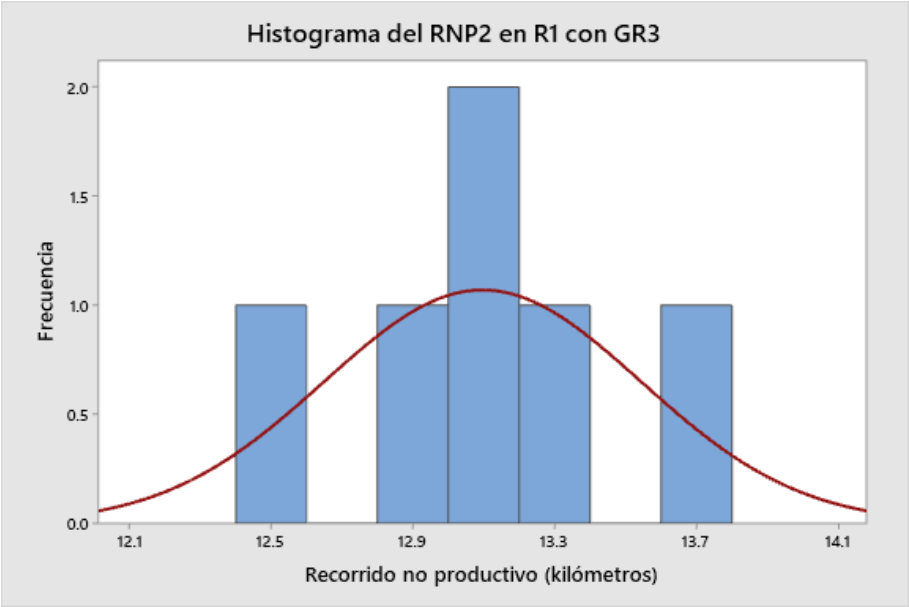


Tabla A. 60 *Distribución del RNP2 para R1con GR3 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(13.1, 0.408)
Error cuadrático medio:	0.1016
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.209
p-valor correspondiente	> 0.15

Del histograma en la Figura A. 49 y la prueba de bondad de ajuste en la Tabla A. 60 resulta un $p > 0.15$, por lo que no se rechaza la hipótesis nula, que señala que los datos tienen una distribución Normal, es decir, el recorrido no productivo final para la ruta 2 con el garaje en la ubicación factible 3 es una normal con media 13.1 y desviación estándar 0.408.

En el Anexo 6, también se muestran los histogramas y los reportes de las pruebas de bondad de ajuste para las distribuciones de los recorridos no productivos en las demás rutas, en síntesis se obtuvo el resumen de las distribuciones, como se presenta en la Tabla A. 61.

Tabla A. 61 *Resumen de las distribuciones de los RNP por rutas con el GR3*

Ruta	Recorridos no productivos iniciales (RNP1)	Recorridos no productivos finales (RNP2)
R1	NORM(14, 0.494)	NORM(13.1, 0.408)
R2	NORM(12.6, 0.354)	NORM(53.8, 0.354)
R3	NORM(27.4, 0.473)	NORM(26.2, 0.441)
R4	NORM(10.7, 0.559)	NORM(13, 0.333)
R5	NORM(32.3, 0.376)	NORM(85.9, 0.483)

Luego, se realizó una prueba de diferencias de medias entre los recorridos no productivos reales recolectados durante la prueba piloto y los de las simuladas. En la Tabla A. 62 se muestran los p-valores de las pruebas de diferencia de medias para corroborar que los recorridos obtenidos en la prueba piloto para cada ubicación factible son similares a los valores simulados con el modelo para la ubicación factible 3.

Tabla A. 62 *p-valor de la diferencia de medias entre los RNP de la prueba piloto y los de recorridos simulados con el GR3*

Recorrido no productivo inicial					
Real	Estimado				
	R1	R2	R3	R4	R5
R1	0.95				
R2		0.94			
R3			0.86		
R4				0.90	
R5					0.90
Recorrido no productivo final					
Real	Estimado				
	R1	R2	R3	R4	R5
R1	0.98				
R2		0.85			
R3			0.91		
R4				0.98	
R5					0.86

Por último, se adaptó el modelo de simulación I con el garaje en la ubicación factible 3 como se muestra en la Figura 19, donde se puede ver como varían los módulos tanto en nombre como atributos debido a que los servicios inician y terminan en la ubicación factible 3 y utilizan las distribuciones estimadas en la Tabla A. 61.

Garaje en la ubicación factible 4 (GR4)

Para adaptar el modelo de simulación I con el garaje en la ubicación factible 4, se elaboró de forma análoga al proceso del escenario anterior (GR1).

Al iniciar se estimó la distribución del recorrido no productivo inicial para la ruta 1 con el garaje en la ubicación factible 4.

Las hipótesis son las siguientes:

$$H_0: Los\ datos\ de\ los\ RNP1\ en\ R1\ con\ GR4\ tienen\ una\ distribución\ Normal$$

$$H_1: Los\ datos\ de\ los\ RNP1\ en\ R1\ con\ GR4\ no\ tienen\ una\ distribución\ Normal$$

Figura A. 50 *Histograma del RNP1 en R1 con GR4*

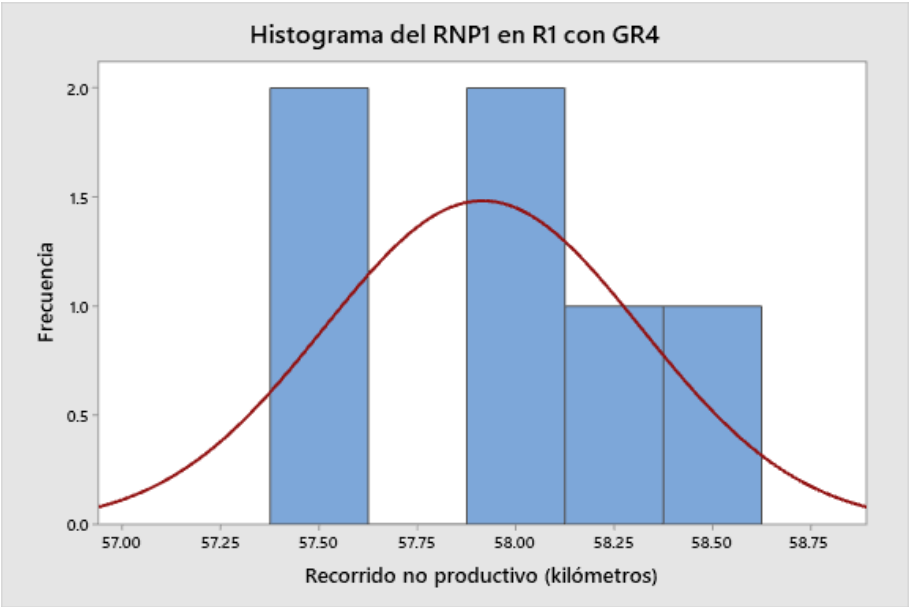


Tabla A. 63 *Distribución del RNP1 en R1 con GR4 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(57.9, 0.37)
Error cuadrático medio:	0.1043
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.215
p-valor correspondiente	> 0.15

Del histograma en la Figura A. 50 y la prueba de bondad de ajuste en la Tabla A. 63 se obtiene un $p > 0.15$, por lo que no se rechaza la hipótesis nula que indica que los datos tienen una distribución Normal, es decir, el recorrido no productivo inicial para la ruta 1 con el garaje en la ubicación factible 4, es una normal con media 57.9 y desviación estándar 0.37.

Luego se estimó la distribución del recorrido no productivo final para la ruta 1 con el garaje en la ubicación factible 4.

Figura A. 51 *Histograma del RNP2 en R1 con GR4*

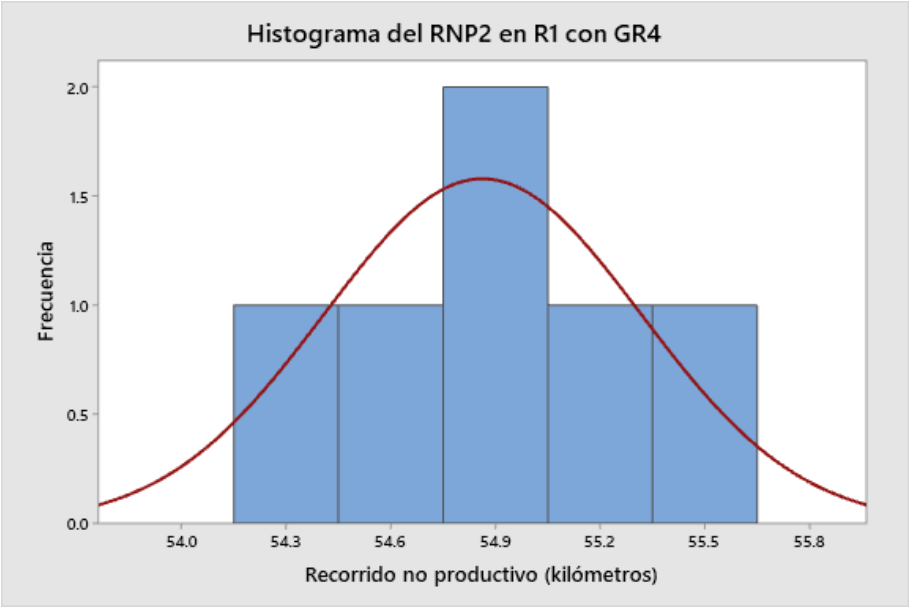


Tabla A. 64 *Distribución del RNP2 en R1con GR4 mediante la herramienta Input Analyzer*

Resumen de distribución	
Distribución:	Normal
Expresión:	NORM(54.9, 0.417)
Error cuadrático medio:	0.01752
Prueba de Kolmogórov-Smirnov	
Estadístico de prueba	0.174
p-valor correspondiente	> 0.15

Del histograma en la Figura A. 51 y la prueba de bondad de ajuste en la Tabla A. 64 se obtiene un $p > 0.15$, por lo que no se rechaza la hipótesis nula, que indica que los datos tienen una distribución Normal, es decir, el recorrido no productivo final para la ruta 1 con el garaje en la ubicación factible 4 es una normal con media 54.9 y desviación estándar 0.417.

En el Anexo 6, también se muestran los histogramas y los reportes de las pruebas de bondad de ajuste para las distribuciones de los recorridos no productivos en las demás rutas, recapitulando se obtuvo el resumen de las distribuciones, como se expone en la Tabla A. 65.

Tabla A. 65 *Resumen de las distribuciones de los RNP por rutas con el GR4*

Ruta	Recorridos no productivos iniciales (RNP1)	Recorridos no productivos finales (RNP2)
R1	NORM(57.9, 0.37)	NORM(54.9, 0.417)
R2	NORM(54.1, 0.395)	NORM(14.5, 0.298)
R3	NORM(17.2, 0.311)	NORM(23.4, 0.706)
R4	NORM(52.6, 0.246)	NORM(54.4, 0.303)
R5	NORM(21.6, 0.416)	NORM(45.4, 0.89)

Posteriormente, se elaboró una prueba de diferencias de medias entre los recorridos no productivos reales recolectados durante la prueba piloto y los de las simuladas. En la Tabla A. 66 se muestran los p-valores de las pruebas de diferencia de medias para corroborar que los

recorridos obtenidos en la prueba piloto para cada ubicación factible son similares a los valores simulados con el modelo para la ubicación factible 4.

Tabla A. 66 *p-valor de la diferencia de medias entre los RNP de la prueba piloto y los de recorridos simulados con el GR4*

Recorrido no productivo inicial					
Real	Estimado				
	R1	R2	R3	R4	R5
R1	0.93				
R2		0.79			
R3			0.80		
R4				0.73	
R5					0.95
Recorrido no productivo final					
Real	Estimado				
	R1	R2	R3	R4	R5
R1	0.85				
R2		0.79			
R3			0.97		
R4				0.80	
R5					0.95

Finalmente, se adaptó el modelo de simulación I con el garaje en la ubicación factible 4 como se presenta en la Figura 20, donde se puede ver cómo cambian los módulos tanto en nombre como atributos ya que los servicios inician y terminan en la ubicación factible 4 y utilizan las distribuciones estimadas en la Tabla A. 65.