

Improving an Olive Producer's Distribution Locally

Jonatán Edward Rojas Polo, Mg.¹, Gianni Valerie Reyes Maquín¹, y Eduardo Carbajal Lopez, Mg¹

¹Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, jrojas@pucp.pe, gianni.reyes@pucp.pe, ecarbajal@pucp.pe

Abstract- This research took place in an olive and olive derivatives manufacturing company, which distributes its products to the main retail and local stores with a total of 95 clients in the city of Lima Metropolitan. The research approaches one of the variations of the best known vehicle routes with the issues of timeframes and load capacities for which heuristic model was applied. The objective was to obtain route that would satisfy the client's requirements. The research started by mapping the clients and collecting data including distance weight and volume of product, specific delivery Windows, and time to service (the client). Upon completion two proposals were developed to improve the aforementioned by creating an optimum route. The first by using heuristics and the second involved a proprietary algorithm formulated based on the restrictions of the systems. Once developed the proposals, with the aid of LINGO and MATLAB software, were compared to the current route(s) in use to determine the best route to use in terms of reduction in distance traveled, resources used, and whether they met the time constraints. Both proposals obtained savings when related to the current distribution of S/. 240.74 And S/. 674.79 Respectively. However, the highest savings were obtained with proposal 2, obtaining S/. 16,124.87 In monthly savings for a 24-day month.

Keywords-- *vehicle routing, Windows of Opportunity and Loading, Distribution System based on Time*

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.262>
ISBN: 978-0-9822896-9-3
ISSN: 2414-6390

Mejora de la distribución de productos a nivel local de una empresa manufacturera de aceituna y sus derivados

Jonatán Edward Rojas Polo, Mg.¹, Gianni Valerie Reyes Maquín¹, y Eduardo Carbajal Lopez, Mg¹

¹Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, jrojas@pucp.pe, gianni.reyes@pucp.pe, ecarbajal@pucp.pe

Abstract— This research took place in an olive and olive derivatives manufacturing company, which distributes its products to the main retail and local stores with a total of 95 clients in the city of Lima Metropolitana. The research approaches one of the variations of vehicle routing also known as Time frames and Loading Capacities Vehicle Routing Problem, which applies a heuristic model in order to obtain a route that is capable of fulfilling the requirements of the clients. The research started with client mapping and necessary data collecting such as distance, kilograms and load volume, delivery schedule and service time. After that, two improvement proposals were developed related to the creation of an optimal route: the first one, using a heuristic and the second one, a self-made algorithm based on system restrictions. Once the proposals are obtained and with the help of LINGO and MATLAB software's, were compared with the current route and determined the best route allowing a decrease in traveled kilometers, used resources and fulfillment of service hours. Both proposals obtained savings when related to the actual distribution of S/. 240.74 and S/. 674.79 respectively. However, the highest savings were obtained with proposal 2, obtaining S/. 16,124.87 in monthly savings for a 24 days month.

Keywords— vehicle routing, time frames and loading, schedule distribution system.

Resumen – Esta investigación se desarrolló en una empresa manufacturera de aceituna y derivados, que distribuye sus productos a los principales supermercados y tiendas locales, con un total de 95 clientes en la ciudad de Lima Metropolitana. La investigación aborda una de las variaciones del ruteo de vehículos más conocido con el problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo y capacidad de carga, para lo cual se aplicó un modelo heurístico, esto con el objetivo de obtener una ruta capaz de satisfacer los requerimientos de los clientes.

La investigación se inició con el mapeo de los clientes y la recolección de data necesaria en distancia, kilogramos y volumen de carga, los horarios de entrega y tiempo de servicio. Posteriormente se desarrolló dos propuestas de mejora referidas a la creación de una ruta óptima: la primera, usando una heurística; y la segunda, un algoritmo propio formulado en base a las restricciones del sistema.

Una vez obtenidas estas propuestas con la ayuda de los softwares LINGO y MATLAB, se las comparó con la ruta actual empleada y determinó la mejor ruta permitiendo reducir los kilómetros recorridos, los recursos empleados y el cumplimiento de los horarios de atención. En ambas propuestas, se obtuvo ahorros con referencia a la distribución actual de S/. 240.74 y S/. 674.79, respectivamente. Sin embargo, el mayor ahorro se consiguió con la propuesta 2, siendo el ahorro mensual obtenido de S/. 16,124.87 para un mes de 24 días.

Palabras clave: ruteo de vehículos, ventanas de tiempo y capacidad, sistemas de distribución con horarios.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.262>
ISBN: 978-0-9822896-9-3
ISSN: 2414-6390

I. INTRODUCCIÓN

Las exportaciones en el Perú en los últimos años se han vuelto un tema importante en la agenda nacional. Según datos obtenidos de la Asociación de Exportadores (ADEX), los dos últimos años han sido ligeramente negativos para las exportaciones peruanas al cerrar en -0.3% en el 2012 y -9.9% en el 2013 [1]. No obstante, Gastón Pacheco, primer vicepresidente de ADEX, sostiene que el 2014 fue un año de oportunidades para las exportaciones peruanas siendo relevante apoyar a las exportaciones no tradicionales al generar mayor valor agregado [2]. En este contexto, la oliva y sus derivados son parte importante de los productos agroindustriales y manufacturados no tradicionales y que se encuentra en crecimiento (en el 2012 se registró un crecimiento de 34% de la producción de oliva). El Perú se encuentra en el puesto 17 en cuanto a toneladas de producción de oliva pero es el tercero en el ranking con respecto al rendimiento. Asimismo, se exporta más del 30% de la producción nacional reflejando la gran preferencia de la aceituna peruana en el extranjero. Esto reforzado por las tendencias saludables actuales (hábitos de consumo y gastronomía fina) como por el dinamismo del sector retail que influyen en el mercado tanto interno como internacional, hacen de la presencia de este producto un gran potencial [3]. Este es el caso del principal exportador de aceituna y sus derivados del Perú, empresa con más de 15 años en el mercado que busca mantener su competitividad a través de la mejora continua en sus procesos. Las líneas de producción de la empresa son semiautomáticas y manuales, siendo las principales las líneas de sellado (27%) y relleno (25%). Sin embargo, la distribución a nivel local (cuyas ventas representan el 49% de los kilogramos de producto vendidos y 42.3% de margen sobre la venta) es parte importante al contribuir en la gestión de ventas. Por otro lado, si bien la gestión de la empresa ha mejorado según muestran los indicadores de productividad promedio del año 2013 de sellado (bolsa tipo 1 = 34.2, bolsa tipo 2 = 30.56 y bolsa tipo 3 = 49.63) y relleno (5.84) que están por encima del estándar, durante todos los meses no se presenta de esta manera puesto que sus valores tienden a ser muy variables. Lo mismo se presenta en el indicador de costo de distribución, el cual se mantiene igual al del 2012 (0.46 S/./kg). Según lo mencionado, se ve una oportunidad de mejora en esta empresa, pues entre los problemas se identifican sobrecostos de transporte o mano de obra, mermas de producción, ventas perdidas por falta de stock o capacidad, devolución de productos, productividades y rendimiento variables. Siendo la distribución local un problema

considerable, debido a diferentes variables que suelen afectarla y no son tomadas en cuenta al momento de la elaboración de las rutas correspondientes lo que ocasiona demora en la entrega de productos e incluso su rechazo. Además, gran parte de las alternativas de mejora planteadas no atacan a la raíz de los problemas centrados en los procesos sino sobre todo en el tipo de tecnología usada. Esto refleja una necesidad en el uso de herramientas de ingeniería orientados a optimizar sus procesos de tal forma que se disminuyan costos directos e indirectos y obtengan mayor ganancia al reducir algunos de los problemas mencionados. Por estos motivos, se plantea la optimización de la distribución a través del uso de heurísticas desarrolladas en función de las principales variables que afectan a esta actividad.

II. SITUACION INICIAL

A continuación se describe a la empresa en general, además se detalla el análisis para identificar los problemas principales y el planeamiento de las contramedidas a desarrollar.

Descripción de la Empresa:

La empresa en la cual se realiza la investigación pertenece a uno de los pilares de un grupo empresarial conformado por tres entes: el primero, dedicado al cultivo de aceitunas; el segundo, enfocado a procesamiento y tratamiento de las aceitunas cosechadas; y el tercero, encargado del procesamiento de las aceitunas procesadas y envasado de las mismas. Estos pilares trabajan en conjunto para ofrecer productos de calidad tanto al mercado nacional como internacional, con el objetivo de satisfacer a sus clientes externos e internos generando utilidades para ofrecerles mejores condiciones laborales. La empresa se dedica al procesamiento y elaboración de aceituna con distinto tipo de relleno de verduras y hortalizas, como también a la elaboración de productos derivados de la aceituna en diferentes presentaciones, ya sea a granel, lo correspondiente a la presentación en bolsas (2kg, 1kg, 0.5kg, 0.25kg y 2.27kg) y bidones (2kg); o en conservas (C109, C267, C246, C037, C016, C302, C080 y C207). Así mismo, trabaja con productos tradicionales como los espárragos, alcachofas, pimientos, etc. Los productos elaborados poseen tanta presencia en el mercado local como internacional siendo sus clientes aquellas empresas que comercializan productos alimenticios de consumo masivo, así mismo se incluyen negocios locales que participan de este mercado. Como también tiene una línea de productos dirigida a bodegas y mayoristas en general. En cuanto al mercado internacional, exporta sus productos a Ecuador, Brasil, E.E.U.U., Canadá, Venezuela, España, Suiza, México, China, Australia, etc., para ello los productos son envasados bajo las diferentes denominaciones y formatos con las que los clientes lo solicitan según al país que pertenece.

a) *Organización:* El organigrama general de la empresa se presenta como una organización que se centra en un eje de coordinación entre todos sus actores. En la figura 1, se aprecia la estructura organizacional de la empresa.

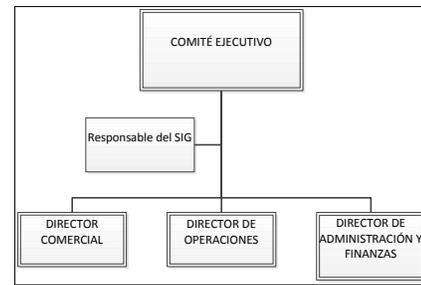


Fig. 1 Estructura organizacional.

El área administrativa y de operaciones de la empresa se encuentra unificada en una sola sede. Las oficinas del área administrativa se encuentran en la parte delantera de la planta. El área de producción, mantenimiento y los almacenes se ubican en la parte posterior, abarcando el 60% del área total (500m²). En la figura 2, se observa el layout de la empresa.

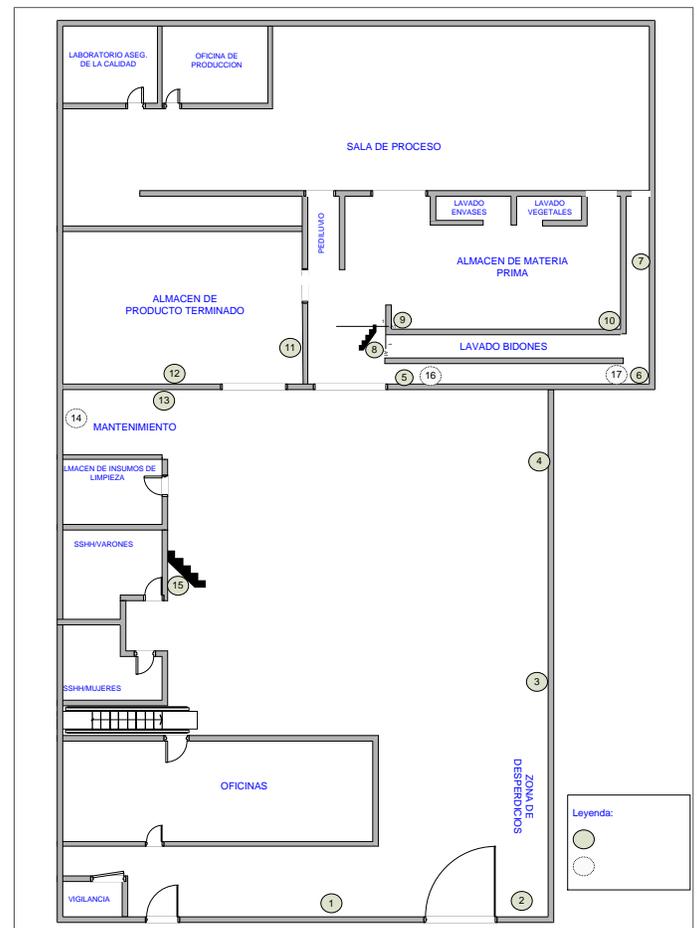


Fig. 2 Layout de la empresa.

b) *Productos que comercializa:* Los productos que comercializa la empresa se identifican en diferentes clases o tipos, pero estos se dividen en categorías a granel y conservas. En la tabla I, se detalla la descripción de cada clase o tipo de producto.

Tabla I
Clasificación de productos

CLASE	DESCRIPCIÓN
Aceitunas Verdes	Verde entera, verde deshuesado, verde en rodajas, verde rodaja al ajo.
Aceitunas Negras	Negra entera, negra deshuesada, negra en rodajas, negra extra, negra seca preparada, negra deshuesada seca preparada, negra rodaja preparada.
Aceitunas Verdes con un solo relleno	Ajo, jalapeño, cebolla, ají amarillo, pimiento, rocoto, castaña, almendra, almendra entera, queso azul.
Aceitunas Verdes con doble relleno	Pimiento y ajo, pimiento y cebolla, ajo y jalapeño, ajo y rocoto, cebolla y rocoto.
Tapenades	Aceitunas al ají, aceitunas con alcachofa, aceitunas agridulce, mix de aceitunas, pimientos, alcachofa a la italiana, criollo picante.
Marinados	Pimiento morrón soasado, aceitunas verdes relleno mixto con antipasto italiano, aceitunas verdes deshuesadas con salsa de ajíes tradicionales, aceitunas ascolana rosada con antipasto mediterráneo.
Productos Tradicionales	Espárrago blanco, alcachofas en tiras, alcachofas de corazones, espárrago verde, sweety pepp para rellenar, pimiento dulce y picante en dados.
Aceites	Aceite extravirgen (250ml y 500ml).

Gestión de Indicadores

Los estándares que maneja la empresa en estudio, son promedios establecidos para cada indicador en relación a la data histórica, siendo su prioridad mejorar estos para obtener resultados competitivos. Los estándares mencionados se muestran en la Tabla II.

Tabla II
Estándares operacionales por actividad

ACTIVIDAD	ESTÁNDAR	VALOR	
Sellado	Productividad	Tipo	Envasado
		Bolsa tipo 1	30.16 bol/HH
		Bolsa tipo 2	20 bol/HH
		Bolsa tipo 3	54 bol/HH
	Merma de bolsa	0.94%	
	Cumplimiento Programa de Producción	100%	
Rellenado	Productividad	5.6 kg/HH	
	Factor uso de aceituna	85%	
	Factor uso de vegetal	25%	
	Cumplimiento Programa de Producción	100%	
Distribución	Costo de distribución mercado local	0.46 S./kg	

La empresa justifica la designación de estos valores como estándares por ser el promedio obtenido de años anteriores en base a la data histórica, por tal motivo vendrían a ser referenciales. Los indicadores son tomados mensualmente.

Identificación y Priorización de Problemas

El análisis de la situación actual se realiza comparando el promedio según data histórica registrada del año 2012 y la obtenida en el 2013. Estos datos se muestran en la tabla III.

Tabla III
Clasificación de productos

ACTIVIDAD	INDICADOR	Valor		
		2012	2013	
Sellado	Productividad	Bolsa tipo 1	30.16	34.2
		Bolsa tipo 2	20	30.56
		Bolsa tipo 3	54	49.63
	Merma de bolsa	1.00%	2.83%	
	Cumplimiento Programa Producción	102%	100%	
Rellenado	Productividad	5.61	5.84	
	Factor uso de aceituna	85%	84%	
	Factor uso de vegetal	25%	24%	
	Cumplimiento Programa Producción	100%	100%	
Distribución	Costo distribución mercado local	0.46	0.46	

En primer lugar, se puede apreciar que los indicadores de productividad con respecto a las bolsas tipo 1 están por encima de la productividad promedio del 2012, las bolsas tipo 2 están por encima del promedio y para las bolsas tipo 3 se encuentra por debajo. Además, la merma de bolsas es casi el triple del estándar, lo que significa que se gastan más bolsas de las necesarias. Por otro lado, el cumplimiento del programa de producción es de 100%, lo cual es aceptable para este indicador.

En segundo lugar, se tiene a los indicadores de la actividad de rellenado, la productividad está por encima, lo que da a entender que se rellenan más kilogramos usando menos recursos. Asimismo, los factores de uso son menores a los establecidos mientras que el cumplimiento del programa de producción está en 100%. Sin embargo, los tiempos estándares empleados en la producción son muy variables debido a los diferentes calibres de aceituna y rellenos usados, lo que impacta en estos indicadores.

Finalmente, se tiene al costo de distribución del mercado local el cual es menor, es decir, el costo por kilogramo distribuido ha disminuido. A pesar que no se mide el cumplimiento de los tiempos de entrega por ruta, es adecuado considerarlos para evitar emplear más recursos de los necesarios y el tiempo empleado sea lo más exacto posible de tal manera que se evite esperar demasiado a ser atendido. Según información recopilada de los encargados de distribución, en ocasiones el tiempo estimado en llegar a un centro de distribución se ve alterado. Además, esto se sustenta, al no considerar en la planeación de las rutas diferentes factores a parte de la cercanía a los centros de distribución.

En relación a lo expuesto, se considera pertinente analizar los principales problemas en cada actividad seleccionada, debido a que los indicadores tienden a variar mensualmente sin seguir algún patrón. Para ello, se usará el diagrama de Pareto en el que se considera la frecuencia e impacto económico de cada problema identificado. En las tabla IV, se aprecia la frecuencia e impacto económico de cada problema, asimismo en las figura 3 se grafica el diagrama Pareto de las actividades en cuestión.

Tabla IV
Cuadro Frecuencia-Impacto

Cuadro Frecuencia-Impacto de la línea de sellado

	PROBLEMA	FRECUENCIA MENSUAL	IMPACTO X MES (S/.)
1	Retrasos por selladora	136.57	S/. 412.35
2	Se malogra dosificador	16.14	S/. 48.43
3	Se malogra elevador	15	S/. 43.33
4	Revisión lenta	15	S/. 37.91
5	Falla otros	9.49	S/. 28.32
6	Falta materia prima	8.57	S/. 26.91
7	Calidad	8.71	S/. 21.10
8	Limpia línea	2.86	S/. 6.59
	TOTAL	212.35	

Cuadro Frecuencia-Impacto de la línea de rellenado

1	Abastecimiento de aceituna	470.58	S/. 2,002.21
2	Incumplimiento del programa de producción	227.66	S/. 1,317.47
3	Uso de destajo	39.04	S/. 165.57
	TOTAL	737.29	

Cuadro Frecuencia-Impacto de la de la distribución

1	Demora por parte del cliente en la recepción	46.07	S/. 12,358.52
2	Devolución de mercadería por fuera de horario de recepción	1.22	S/. 328.34
3	Error de despacho del transportista	0.71	S/. 189.28
	TOTAL	48	

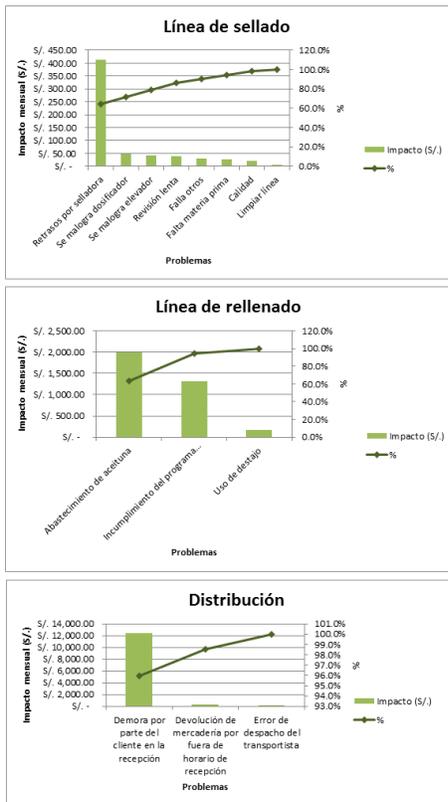


Fig. 3 Diagrama de Pareto.

Según los gráficos mostrados, se concluye que el principal problema para la línea de sellado es retraso en selladora; en la línea de rellenado, el abastecimiento de aceituna; y en la distribución, la demora por parte del cliente en la recepción.

Identificación y Análisis de Causas

Las causas son identificadas y analizadas a través del diagrama de Ishikawa realizado para cada actividad.

a) Línea de Sellado: se detallan las siguientes causas

Hombre: Los operarios son capacitados en la realización de diferentes actividades correspondientes a todas las líneas de producción pero no en la revisión del funcionamiento de las máquinas. Los encargados de mantenimiento se demoran en atender los problemas en planta.

Recursos: La cantidad de selladoras para balancear el flujo de producción resulta insuficiente considerando que las selladoras no trabajan al 100% por fallas mecánicas.

Método: El método empleado es variable, pues según el tipo de producto y la cantidad a envasar serán necesarios o no más operarios del estándar. Los tiempos son variables.

Planeamiento de producción: Los estándares empleados para estimar tiempos de producción son variables y se basan en data promedio histórica, no considerando la capacidad que se posee de la línea en diferentes escenarios debido a la variación en las cantidades a producir, puesto que a mayor cantidad de producción la línea resulta más eficiente.

b) Línea de Rellenado: se detallan las siguientes causas

Hombre: Los operarios son capacitados en la realización de diferentes actividades correspondientes a todas las líneas de producción, es decir, no se especializan en una sola línea sino que diariamente son rotados entre estas.

Recursos: La línea de relleno posee una capacidad máxima de 45 operarios, aquello que en ocasiones resulta insuficiente siendo necesario el empleo de la línea de vegetales (capacidad 25 operarios).

Método: El método empleado es manual y variable según tipo de producto, calibre de aceituna empleado y tipo de línea sea la de relleno o la de limpieza de vegetales. Además, el pago es por destajo aquello que es una motivación para el operario en rellenar más kilogramos y este no considera la producción en general sino su propio avance.

Planeamiento de producción: Los estándares empleados para estimar tiempos de producción son variables y se basan en data promedio histórica, no considerando la capacidad que se posee de la línea en diferentes escenarios pues esta está sujeta al avance del operario.

c) Distribución: se detallan las siguientes causas

Hombre: Los encargados de distribución son capacitados en lo esencial para asumir el cargo y son contratados por la empresa mientras que parte de los choferes son brindados por la empresa contratada para cubrir cierta zona. Los ayudantes no son capacitados sino que aprenden sus funciones en campo.

Recursos: Dos de los tres camiones empleados en la distribución son contratados mientras el otro es propio de la empresa; sin embargo, se contrata vehículos adicionales de ser necesario. La cantidad de camiones es variable, pero muchas veces resulta insuficiente en el sentido que se presentan problemas entre la distribución de productos y el recojo de jabas, limitando muchas veces la producción por falta de estas para ser almacenadas.

Método: A pesar que parte de la flota es contratada, la ruta de reparto de productos y recojo de jabas es dada por la empresa.

Planeamiento de distribución (ruta): La ruta es establecida por el área de ventas local basándose en la cercanía de los centros de distribución según las diferentes zonas identificadas y a criterio del encargado de ventas locales; sin embargo, no se consideran otras variables como la capacidad de los camiones, tráfico, distancia de ida y vuelta, tiempos de espera en ser atendidos por el cliente, etc. Además, no se tiene un control en el recojo de jabas, pues le dan mayor relevancia en llegar a tiempo a los centros de distribución para ser atendidos.

Planteamiento y Selección de Contramedidas

Las soluciones planteadas para cada actividad se enfrentan en la tabla VI con el objetivo de encontrar la solución más viable. El método usado en la comparación se centra en la matriz FACTIS, cuya tabla de ponderaciones por criterio se describe en la tabla V.

Tabla V
Ponderaciones FACTIS

F	Facilidad para implementarlo			5
	1. Muy difícil	2. Difícil	3. Fácil	
A	Afecta a otras áreas su implementación			3
	1. Sí	3. Algo	5. Nada	
C	Mejora la calidad			2
	1. Poco	3. Medio	5. Mucho	
T	Tiempo que implica implementarlo			3
	1. Largo	2. Medio	3. Corto	
I	Requiere inversión			4
	1. Alta	3. Media	5. Poca	
S	Mejora la seguridad			3
	1. Poco	2. Medio	3. Mucho	

Según la tabla VI de comparaciones desarrollada, se concluye que las soluciones ideales para cada actividad son: para sellado, el uso de la simulación de eventos discretos pues se puede analizar los equipos necesarios según las cantidades a producir así como estimar las cantidades de producción considerando ciertas variables como mermas y fallas; para el relleno, la automatización del proceso de reparto de aceitunas con el objetivo de disminuir tiempos muertos; y para la distribución, el desarrollo de una heurística en la creación de una nueva ruta de distribución con el objetivo de considerar todas las variables que puedan afectar a esta y hacerla más óptima. Por otro lado, la importancia de desarrollo de entre estas tres alternativas de mejora es la siguiente: desarrollo de una heurística en la creación de una nueva ruta (66 puntos),

simulación de eventos discretos (63 puntos) y automatización del proceso de reparto de aceitunas (58 puntos).

Tabla VI
Comparaciones FACTIS

ACTIVIDAD	SOLUCIONES PLANTEADAS	CRITERIOS DE SELECCIÓN	F	A	C	T	I	S	
Sellado	Implementación plataforma planeamiento	Puntaje	1	1	1	1	1	2	
		Factor de ponderación	5	3	2	3	4	3	
		Total	5	3	2	3	4	6	23
	Simulación de eventos discretos	Puntaje	2	5	3	2	5	2	
		Factor de ponderación	5	3	2	3	4	3	
		Total	10	15	6	6	20	6	63
Rellenado	Automatización del reparto de aceitunas	Puntaje	2	5	3	3	3	2	
		Factor de ponderación	5	3	2	3	4	3	
		Total	10	15	6	9	12	6	58
	Implementación de equipos	Puntaje	3	5	1	3	1	3	
		Factor de ponderación	5	3	2	3	4	3	
		Total	15	15	2	9	4	9	54
Distribución	Desarrollar una ruta a través de heurísticas	Puntaje	2	5	3	3	5	2	
		Factor de ponderación	5	3	2	3	4	3	
		Total	10	15	6	9	20	6	66
	Comprar vehículos	Puntaje	2	3	1	2	3	1	
		Factor de ponderación	5	3	2	3	4	3	
		Total	10	9	2	6	12	3	42

III. PROPUESTA DE MEJORA

A continuación se describe las propuestas de mejora de la investigación:

Mapeo de Clientes:

Muchas de las empresas enfocadas en la distribución de sus productos emplean software especializado en el establecimiento de sus rutas; sin embargo, estos suelen ser muy costosos para aquellas empresas en las que su core business no es la distribución sino más bien es parte de un servicio adicional brindado al cliente. Por lo tanto, para la ubicación de los clientes se usa la herramienta Google Maps, puesto que da una buena ubicación de los puntos de distribución en función de la dirección brindada por la empresa, además de ser muy confiable. Se considera un total de 95 clientes, quienes se encuentran distribuidos en los distritos de Ate, Asia, Barranco, Bellavista, Breña, Callao, Chaclacayo, Chorrillos, Chosica, Comas, Independencia, Jesús María, La Molina, La Victoria, Lima, Lince, Los Olivos, Lurín, Magdalena del Mar, Miraflores, Pueblo Libre, Puente Piedra, Punta Hermosa, Rímac, San Borja, San Isidro, San Juan de Lurigancho, San Juan de Miraflores, San Miguel, Santa Anita, Santiago de Surco, Surquillo, Ventanilla y Villa el Salvador. Como se puede apreciar, los distritos se encuentran dispersos en toda Lima Metropolitana y el Callao, en la figura 4, se muestra la ubicación de los clientes y de la empresa (punto de partida = 0), a los clientes se los identifica con un número representativo y un color que corresponde a la cadena de autoservicios o supermercados que pertenece.

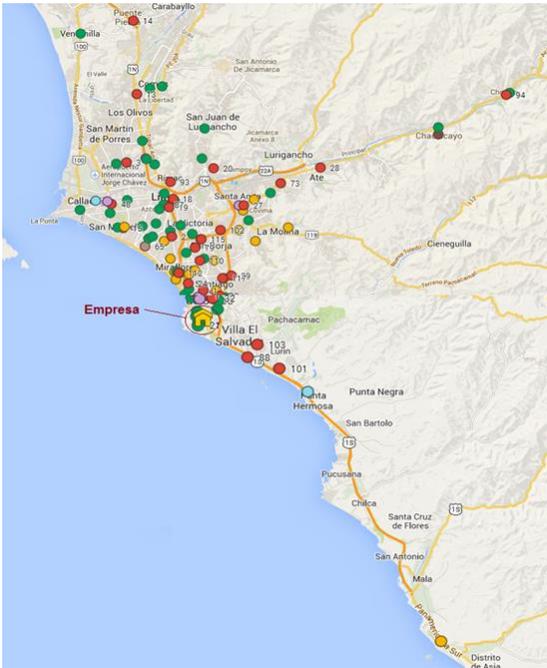


Fig. 4 Ubicación de los clientes.

Cabe resaltar que se hace la distinción entre dos tipos de clientes: aquellos con horarios para la recepción de productos (también conocidos como ventanas de tiempo) y aquellos que no. A los primeros, se los clasifica como clientes tipo 1, dándoles mayor prioridad sobre los otros. Mientras a los segundos, se los denomina como clientes tipo 2. En la tabla VII, los clientes son clasificados por tipo según su número representativo.

Tabla VII
Clasificación de Clientes

TIPO DE CLIENTE	NÚMERO CLIENTE
1	4, 5, 9, 10, 16, 17, 25, 26, 33, 34, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 54, 55, 66, 68, 70, 71, 75, 76, 77, 78, 80, 83, 84, 85, 86, 92, 96, 97, 100, 107, 108, 111, 116 y 121
2	1, 2, 3, 6, 7, 8, 11, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 27, 28, 29, 32, 35, 36, 40, 48, 50, 52, 57, 65, 69, 72, 73, 74, 79, 81, 82, 87, 88, 89, 90, 93, 94, 95, 98, 101, 102, 103, 106, 110, 112, 115 y 117

Propuestas de mejora

En relación con el problema identificado en la empresa y las condiciones que presenta la misma, se desarrolla dos propuestas de mejoras. Para cada propuesta, se detalla los pasos empleados en la solución del problema.

a) Propuesta 1: Método de Asignar Primero – Rutear Después

En esta primera propuesta, se analizará la heurística de barrido o sweep perteneciente al método de Asignar Primero – Rutear Después. La heurística se puede dividir en dos fases: en la primera, se determina los clientes que conforman los clúster;

y en la segunda, se desarrolla un TSP para cada clúster. A continuación, se detalla los pasos seguidos para obtener la solución.

Los clientes se agrupan en clúster, para ello: Se ordena a estos según el valor del ángulo θ , empezando con aquellos que presenten el menor valor. Se realiza la formación de los clúster hasta que se sobrepase la capacidad de los vehículos, se considerará un vehículo de 2 toneladas, uno de 6 toneladas y uno de 12 toneladas, dicha elección se basa en la aplicación del método del barrido tanto para los kilogramos como para el volumen incurrido, para esto se asume que se atienden a todos los clientes por día. Con respecto a esta decisión, se toma como referencia la capacidad actual empleada por la empresa (un camión de 2 toneladas y dos camiones de 4 toneladas); sin embargo, estos sobrepasan la capacidad en volumen, por lo cual se considera los tres grupos ya formados y se pasa a ampliar la capacidad de los camiones a 6 y 12 toneladas. Además, se forman tres rutas para ser consistente con las zonas identificadas por la empresa.

Tabla VIII
Elección de flota para cada clúster

FLOTA	CLUSTER 1	CLUSTER 2	CLUSTER 3
Capacidad camiones (kg)	2,000	6,000	12,000
Kilogramos reales	1,553	2,915	3,352
Capacidad restante (kg)	447	3,085	8,648
Capacidad camiones (cm ³)	9,000,000	17,000,000	32,000,000
Volúmenes reales	9,242,858	16,923,947	28,493,695
Capacidad restante (cm ³)	-242,858	76,053	3,506,305

En la tabla VIII, se muestra el detalle de la elección de la flota. Por otro lado, en las figuras 5 y 6, se aprecia la agrupación obtenida de los clientes.

En la tabla VIII, se tiene que la capacidad en volumen para el clúster 1 sobrepasa la capacidad del camión; sin embargo, esta diferencia está dentro de la tolerancia permitida, siendo aceptable manejar el volumen real.

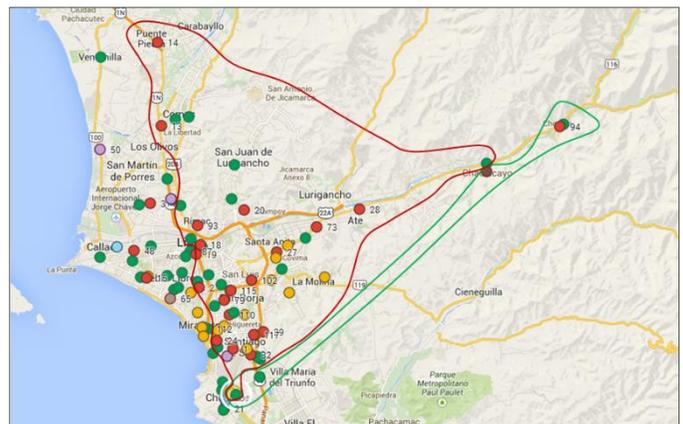


Fig. 5 Clúster 1 (verde): 6, 40, 94, 97 y 72.

Clúster 2 (rojo): 36, 44, 76, 80, 28, 33, 32, 29, 73, 5, 26, 84, 4, 117, 52, 37, 35, 27, 102, 34, 20, 1, 83, 92, 86, 115, 38, 110, 79, 54, 81, 25, 96, 43, 116, 18, 93, 16, 68, 55, 14, 19, 90, 13, 87, 121, 111, 24, 2 y 89.

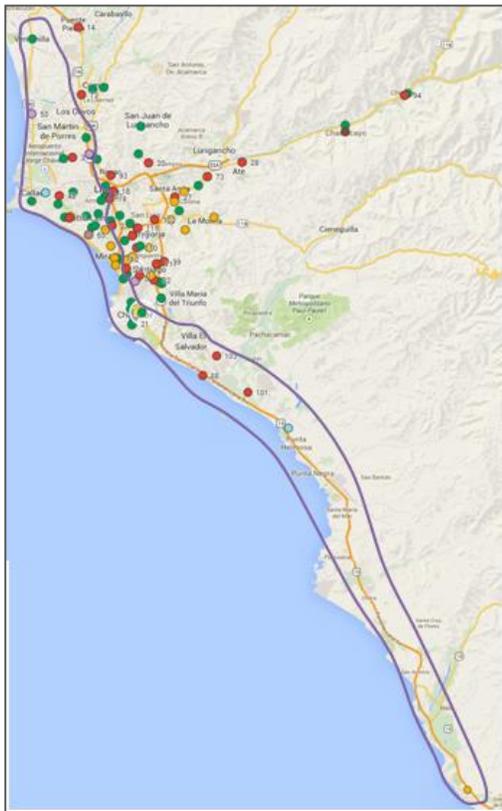


Fig. 5 continuación Clúster 3(morado): 75, 85, 11, 82, 100, 22, 112, 17, 46, 45, 70, 9, 66, 3, 8, 98, 47, 41, 78, 77, 50, 39, 42, 65, 48, 10, 15, 107, 71, 7, 108, 74, 95, 21, 106, 69, 88, 57, 101 y 103.

Se optimiza cada clúster formado usando un TSP: Para hallar la ruta óptima o que posea el menor costo se usará un modelo matemático en LINGO. En los siguientes puntos se pasa a detallar el procedimiento para el clúster 1.

Primero, se necesitan los costos de transporte entre todos los puntos, esto se obtendrá en función a los kilómetros recorridos tanto de ida y vuelta de un punto a otro. En la tabla IX, se aprecian los valores.

Tabla IX
Matriz costo del Clúster 1

Costo (S/.)	0	6	40	72	94	97
0	0	13	49.2	452	539	546
6	13	0	43.9	500	587	594
40	49.2	43.9	0	461	550	556
72	452	500	461	0	95.2	102
94	539	587	550	95.2	0	6.42
97	546	594	556	102	6.42	0

Segundo: se desarrolla en modelo matemático en LINGO, la función objetivo será la minimización de los costos y se formulará como un TSP.

$$\text{Minimización } Z = \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij}$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V$$

$$u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1 \quad \forall (i,j) \in E, i \neq 0, j \neq 0$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E$$

Donde:

x_{ij} = variables binarias que indican el uso del arco (i, j) .

c_{ij} = costo asociado a cada arco (i, j) .

$V = \{0, 6, 40, 94, 97, 72\}$.

$u_i - u_j$ = restricción de Miller, Tucker y Zemlin, 1960

Tercero: (los pasos 1 y 2 se realizan también para el clúster 2 y 3) se resuelve el modelo en LINGO y se obtiene la solución para los tres clúster.

Tabla X

Solución del modelo TSP para cada clúster

CLÚSTER	CLIENTES X CLÚSTER	Km. recorridos
1	0 - 6 - 40 - 72 - 94 - 97 - 0	108.45
2	0 - 44 - 80 - 29 - 26 - 117 - 34 - 83 - 110 - 79 - 54 - 116 - 89 - 2 - 19 - 87 - 90 - 121 - 13 - 14 - 55 - 96 - 93 - 68 - 18 - 86 - 92 - 20 - 28 - 36 - 73 - 5 - 52 - 27 - 35 - 84 - 33 - 76 - 37 - 102 - 38 - 115 - 43 - 25 - 16 - 24 - 111 - 81 - 1 - 4 - 32 - 0	201.15
3	0 - 95 - 21 - 106 - 88 - 103 - 101 - 57 - 69 - 85 - 82 - 11 - 3 - 47 - 50 - 45 - 108 - 7 - 77 - 48 - 107 - 71 - 15 - 10 - 78 - 100 - 75 - 66 - 41 - 39 - 65 - 46 - 9 - 8 - 22 - 112 - 17 - 98 - 70 - 42 - 74 - 0	229.08

Por último, se realiza una proyección de la capacidad de vehículos real para un intervalo de 5 días, debido a que se pueden repartir en un día desde un mínimo de nueve clientes a un máximo de sesenta clientes, En la tabla XI, se muestra las toneladas de flota empleada para cada clúster y el costo total por día.

Tabla XI

Solución de flota para 5 días (capacidad)

numero de clúster	1	2	3	4	5
1	1500	0	0	1500	0
2	1500	1500	1500	6000	1500
3	1500	1500	1500	6000	10000
Costo (S/.)	510	340	340	770	520

b) Propuesta 2: Algoritmo Propuesto (VRPTW)

Como segunda propuesta, se plantea la elaboración de un algoritmo basado en el Problema de Ruteo con Ventanas de Tiempo (VRPTW), además de considerar la capacidad de los vehículos y el tráfico. La consideración de estas dos últimas, se debe a que son variables importantes: la primera con respecto a la selección adecuada de la flota de vehículos, mientras la segunda con respecto a su influencia en el tiempo de distribución. Antes de empezar con el desarrollo del algoritmo propuesto, se menciona las características de los vehículos y del tráfico y cómo se manejarán estos datos. Posteriormente, se describirá el algoritmo a emplear.

Capacidad y velocidad de flota: La empresa posee un vehículo propio de capacidad de 2 toneladas y la otra parte de la flota es subcontratada dependiendo de la demanda que se presente. La velocidad empleada será de 20 Km/H, según promedio

brindado en la encuesta de velocidades realizada por el MCT. La capacidad de los vehículos disponibles se muestra en la tabla XII, en esta también se aprecia el costo en soles por ruta realizada al día.

Tráfico: El tráfico es una variable que suele influir en la selección de rutas para realizar la distribución, de hecho su importancia radica en afectar en el tiempo de entrega de los productos a los clientes. Por ello, se considera al tráfico como una variable de prioridad en la selección de rutas de un cliente a otro, es decir, se asignará un valor referido al indicador volumen sobre capacidad (V/C) para cada ruta entre clientes, esto permitirá incluir al tráfico en el modelo como una variable de prioridad al momento de elegir la secuencia de los clientes que conformaran la ruta.

Tabla XII
Vehículos disponibles

Tipo vehículo	Capacidad	Volumen (cm ³)	Costo (s/.)
Camión Chico	1,5 - 2 ton	9000000	S/. 170.00
Camión Mediano	4 pallets/ 4 ton	12000000	S/. 200.00
Camión Grande	6 a 8 pallets/6 - 8 ton	17000000	S/. 300.00
	10 pallets/ 10 ton	21000000	S/. 350.00
Camión doble eje Furgón	12 pallets/ 12 ton	32000000	S/. 450.00
	14 pallets/ 14 - 18 ton	43680000	S/. 500.00

En el mapa de la figura 6, se aprecia la ubicación de los clientes en el mapa de flujo de tráfico para el 2012, en este se puede apreciar a las avenidas con diferentes colores que aluden al indicador de V/C, los valores de este se describen en la leyenda correspondiente, además los valores de clasificación se dan en intervalos por lo cual se usará el límite inferior de cada intervalo en la realización de la matriz de este indicador para todos los clientes; por ello, para el primer intervalo se reemplazará por el valor inferior de 0.1 en vez de 0.0 ya que este eliminaría el tiempo al ser multiplicado por el factor tráfico.



Fig. 6 Flujo de Tráfico en 2012.

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones

Algoritmo: se trabajará en dos fases: en la primera, se buscará determinar la cantidad de vehículos necesarios así como el tipo a ser empleado; y en la segunda, se centrará en

minimizar el tiempo de distribución considerando el tráfico, tiempo de servicio, las ventanas de tiempo y la capacidad de los vehículos. El arreglo se realiza considerando la data recopilada de la empresa por un periodo de cinco días, debido a que el número de clientes visitados por día de semana varía. A continuación, se plantea el algoritmo mencionado en dos fases, cada una de la cual se desarrolla a través de una secuencia de pasos.

Fase 1: Determinar número de vehículos

Paso 1 (Definición) Se identifica la demanda de cada cliente d_i , capacidad de los vehículos q_k y su respectivo costo relacionado C_k .

Paso 2 (Optimización) Se busca minimizar el costo de la flota a emplear, para ello se itera las veces necesarias la suma $\sum V_k C_k$ hasta encontrar el número de vehículos que satisfaga la demanda teniendo en cuenta la capacidad de estos. La formulación matemática empleada será la siguiente:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{k=1}^6 V_k C_k$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^{96} d_i x_{ik} \leq q_k V_k \quad \forall i \in N = \{1, \dots, 96\}, k \in K = \{1, \dots, 6\}$$

$$\sum_{k \in K} x_{ik} = 1 \quad \forall i \in N$$

$$x_{ik} \in \{0,1\}, q_k \geq 0, d_i \geq 0$$

Donde:

x_{ik} = variable de decisión (1, si el vehículo k pasa por el cliente i y 0, si el vehículo k no pasa por el cliente)
 V_k = número de vehículos del tipo k .

Para la solución del modelo, se usará el software LINGO, debido a que es más flexible al momento de trabajar con gran cantidad de datos, como en este caso se da con el número de clientes considerados (95). El arreglo con la flota para los cinco días se detalla en la tabla XIII.

Tabla XIII
Arreglo de flota para 5 días

Tipo de vehículo	1	2	3	4	5
1.5 - 2 toneladas		1			
4 toneladas	1		1		
8 toneladas					
10 toneladas					
12 toneladas				1	1
14 toneladas					
Costo (S/.)	200	170	200	450	450

Fase 2: Creación de una ruta

Paso 3 (Definición) Se identifica el criterio a usar en la elección de la ruta, en este caso, se propone usar una variable Z definida como la multiplicación del tiempo entre clientes t_{ij} y una variable de prioridad en función del tráfico f_{ij} . El tiempo entre clientes t_{ij} se expresa en minutos y se obtiene a partir de una matriz de distancias con una velocidad promedio de los vehículos según zona. Mientras la variable de tráfico f_{ij} se expresa como un valor decimal de un dígito sin dimensión.

Paso 4 (Elaboración restricciones) Se procede a elaborar las restricciones a tomarse en cuenta para la elaboración de la ruta, como la referida a las ventanas de tiempo $[a_i, b_i]$ de cada cliente i (4), a la carga del vehículo w_i a lo largo de la ruta (7), a la capacidad de carga (8) y a la limitación de una sola visita a cada cliente (2) y (3). Por otro lado, cuando se trabaja con restricciones referidas a las ventanas de tiempo se debe tener en cuenta agregarle una variable de holgura (H_1) y exceso (E_1), con la finalidad de garantizar una solución en el modelo, a esto se le denomina ventanas de tiempo suaves; en caso la variable de exceso (E_1) tenga un valor mayor a cero, da a entender que se ha excedido algunas de las ventanas de tiempo y, por tanto, se le asigna un costo por sobrepasar estas. Según, esto último mencionado, la función objetivo pasa a ser la minimización del exceso (E_1); y el producto del tiempo entre clientes (t_{ij}) y la variable tráfico (f_{ij}) como una restricción cuyo valor mínimo es el hallado en la solución del TSP simple.

Paso 5 (Optimización) Según los pasos 3 y 4 descritos, se plantea el siguiente modelo matemático.

$$\text{Minimizar } Z = E_1$$

Sujeto a:

$$(1) \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N t_{ij} x_{ij} f_{ij} \geq M$$

$$(2) \sum_{i \in \Delta-j} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N = \{1, \dots, 96\}, \quad i \neq j$$

$$(3) \sum_{j \in \Delta+i} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N = \{1, \dots, 96\}, \quad i \neq j$$

$$(4) a_i + s_i \leq \alpha_i + s_i \leq b_i \quad \forall i \in N = \{1, \dots, 96\}$$

$$(5) x_{ij} * (\alpha_i + s_i + t_{ij} - \alpha_j) + H_1 - E_1 = 0 \quad \forall (i, j) \in A, \quad i \neq j$$

$$x_{ij} * (t_{ij} - \alpha_j) \leq 0 \quad \forall (i, j) \in A, \quad i \neq j$$

$$(6) u_i - u_j + 96x_{ij} \leq 95 \quad \forall (i, j) \in A, \quad i \neq 0, \quad j \neq 0$$

$$(7) w_i - d_i + w_j \geq M \left(1 - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ij} \right) \quad \forall (i, j) \in A, \quad i \neq j$$

$$(8) w_i \leq q_k$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in A$$

$$w_i \geq 0, d_i \geq 0, s_i \geq 0, b_i \geq 0, \alpha_i \geq 0, t_{ij} \geq 0, f_{ij} \geq 0, u_i \in \mathbb{R}$$

Donde:

x_{ij} = variable de decisión 1, si un vehículo recorre el arco (i, j) y 0, si un vehículo no recorre el arco.

A = conjunto de arcos (i, j) .

$\Delta+(i)$ = conjunto de vértices j tal que $(i, j) \in A$.

$\Delta-(i)$ = conjunto de vértices j tal que $(j, i) \in A$.

N = conjunto de clientes $\{1, \dots, 96\}$.

$[a_i, b_i]$ = ventana de tiempo para el nodo i .

s_i = tiempo de servicio para el nodo i .

q_k = capacidad del vehículo k .

d_i = demanda de nodo i .

α_i = tiempo de llegada al nodo i .

V_k = número de vehículos del tipo k .

H_1 = holgura de las ventanas de tiempo.

E_1 = exceso de las ventanas de tiempo.

M = valor numérico obtenido de la solución del TSP simple.

w_i = carga total entregada por el vehículo hasta llegar al nodo i .

La corrida del modelo se realiza en dos fases: en la primera, se resuelve como si fuera un TSP simple con la finalidad de

hallar el valor mínimo alcanzado y usar esta para acotar la función objetivo y minimizar el exceso (E_1); en la segunda, se resuelve el modelo con la formulación presentada en la fase 2. En la tabla XIV se observa la respuesta.

Tabla XIV
Resultado DIA 2 para el modelo en LINGO

Ruta (min)	Ruta + T. Serv (min)	Ruta + T. Serv (horas)	E1 (min)
376.14	691	11.519	3.58

Como en la propuesta 1, se realiza la programación para cinco días con diferentes mix de clientes. El modelo en LINGO corresponde a los nueve clientes visitados el segundo día. Sin embargo, al tratarse de un modelo de ruteo de vehículos con variables binarias, el tiempo de solución cuando los clientes se incrementan resulta mayor y deja de ser eficiente; por ello, se procede a desarrollar otra heurística basada en la inserción secuencial de Solomon para el VRPTW, con el objetivo de crear una alternativa de solución cuando el número de clientes a visitar sea alta. El desarrollo de la heurística de inserción secuencial de Solomon se describe en los siguientes pasos:

Paso 1 (Definición) Se identifica el criterio a usar en la elección de los clientes que se insertan a la ruta, en este caso, se propone como el primer cliente aquel más cercano al depósito y que puede ser atendido más temprano. Posteriormente, los clientes son agregados a la ruta según la hora de llegada.

Paso 2. (Elaboración de restricciones) los clientes son agregados a la ruta de manera secuencial y en base de la multiplicación por pesos de la función costo (\hat{c}_{ij}) de insertar al cliente en dicha ruta con el acumulado de los minutos recorridos al insertar cierto cliente. Por otro lado, la función costo, se basa en la cercanía de los clientes (T_{ij}) y la urgencia de realizar la inserción (V_{ij}).

Paso 3. (Desarrollo de la heurística) Según los pasos anteriores, la inserción de los clientes se rige en función de M .

$$M = \hat{c}_{ij} * \text{Ruta Acumulada}$$

$$\hat{c}_{ij} = \partial_1 c_{ij} + \partial_2 T_{ij} + \partial_3 V_{ij}$$

$$T_{ij} = b_j - (b_i + s_i)$$

$$V_{ij} = l_j - (b_i + s_i + t_{ij})$$

$$\text{Ruta Acumulada} = \sum_{i=0}^j t_{ij}$$

Donde:

$\partial_1, \partial_2, \partial_3$ = parámetros de peso no negativos y que suman 1.

l_j = ventana de tiempo superior de j .

T_{ij} = cercanía de los clientes en minutos.

V_{ij} = urgencia de realizar la inserción.

La solución de la heurística se detalla en la tabla XV.

Tabla XV
Resultado DIA 2 para la heurística de inserción secuencial

Ruta (min)	Ruta + T. Serv (min)	Ruta + T. Serv (horas)	E1 (min)
388.64	704	11.73	0

IV. RESULTADOS

Se presentará los resultados de ambas propuestas:

Resultado de la Propuesta 1: Se construyen tres clúster: clúster 1 con 5 clientes; clúster 2 con 50 clientes; y clúster 3 con 39

clientes. Para cada clúster, se tiene un vehículo con capacidad suficiente para los kilogramos y volúmenes transportados tomando como referencia data de 5 días. En los cinco días, se usa un vehículo de 2 toneladas, este vehículo hace referencia al que la empresa posee. El modelo de optimización usado se centra en la minimización de los costos para cada clúster, con este se obtienen la secuencia de distribución. Los costos están en base a los kilómetros entre cada cliente y el indicador Costo Distribución Mercado Local (S/. /Kg). Como se mantiene la cantidad de rutas, por ello, se mantiene la cantidad de ayudantes en tres. En algunos días, las rutas halladas con el modelo se sobrepasan la cantidad máxima de horas de trabajo, por ello, se asume que los clientes que no se logran atender serán atendidos al siguiente día y se los incluye en la ruta del siguiente día o se les asigna un vehículo adicional. El costo adicional generado se considera dentro del costo total por día. Al no considerar el modelo el cumplimiento de las ventanas de tiempo, el valor del E es hallado con la solución del modelo de optimización, debido a que este costo adicional es relevante debe ser incluido en el costo total por día.

Resultado de la Propuesta 2: Para los cinco días tomados como muestra, se realiza la optimización de la flota necesaria, obteniendo entre uno y dos vehículos con capacidades (peso y volumen) variables dentro de los vehículos disponibles. El modelo de optimización usado se enfoca en la minimización tanto del tiempo empleado en cada ruta, el cumplimiento de las ventanas de tiempo y el costo para cada clúster creado. El tiempo de solución del modelo en LINGO se incrementa conforme aumentan los clientes, lo cual hace que sea no factible aplicarlo para grandes cantidades de clientes, por ello, es necesario la creación de un modelo heurístico que genere una solución cercana a la del modelo de optimización. El segundo modelo planteado se basa en la heurística de inserción de Solomon y se enfoca en el costo de insertar cada cliente, la cercanía en tiempo de los clientes y el valor de ruptura de las ventanas de tiempo lo mínimo posible. Este modelo se plantea en MATLAB. La solución obtenida modifica la solución de la optimización de la flota. De hecho, en algunos días la cantidad de vehículos necesarios aumenta hasta ocho y ya no es necesario atender el valor máximo que se puede tener abierto el depósito (14 horas), por ello, los vehículos ya no se contratan por día sino por horas y el número de ayudantes aumenta a ocho.

En la siguiente tabla se presenta una comparación para ambas propuestas mediante los indicadores de horas totales empleadas en la ruta para los cinco días.

Tabla XVI
Tabla comparativa de la propuesta 1 y 2

Indicadores	Propuesta 1	Propuesta 2
Ruta (hr)	164.7	206.1
E_{Total} (hr)	885.5	4.6
Total (hr)	S/.1,050.23	S/.210.75

Así también se evalúa la viabilidad económica de la propuesta de investigación, donde el VAN y la TIR son aceptables. Los datos se pueden observar en la tabla XVII.

Tabla XVII

VAN económicos y financieros para ambas propuestas

Propuesta 1	TIR	VAN (S/.)
Indicador FCE	26%	234,710.00
Indicador FCE	25%	171,604.00
Propuesta 2	TIR	VAN (S/.)
Indicador FCE	36%	355,206.00
Indicador FCE	35%	289,200.00

V. CONCLUSIONES

La creación de las rutas en el software MATLAB se realiza bajo el concepto de hacer las iteraciones necesarias para incluir todos los clientes en una ruta sobrepasando en lo mínimo posible las ventanas de tiempo, es decir, incluir los clientes mientras el valor de E (ruptura de las ventanas de tiempo) sea lo menor posible o cercano a cero. El costo de distribución de la propuesta 2 es menor al establecido en la propuesta 1, obteniendo un ahorro de S/. 434.04 por día, asimismo ambos son menores al costo de distribución actual con un ahorro de S/. 240.74 con respecto la propuesta 1 y S/. 674.79 con respecto la propuesta 2. Este costo incluye tanto los relacionados al alquiler de los vehículos, pago del personal y costo por ruptura de ventanas de tiempo. Por lo tanto, el ahorro mensual en total logrado por la optimización asciende en promedio a S/. 16,124.87 para un mes de 24 días. Según el análisis económico y financiero, ambas propuestas generan ahorros y un costo de distribución menor al de la situación actual. Sin embargo, la propuesta 2 presenta un VAN económico y financiero mayor con S/. 355,206.00 y S/. 289,200.00, respectivamente. Por lo tanto, la propuesta 2 sería la más factible de implementar.

REFERENCIAS

- [1] Asociación de Exportadores, 2014, "2014, año de oportunidades", Perú Exporta, Lima 2014, N° 388, pp. 6. Consulta: 05 de abril de 2014. https://issuu.com/adex_1/docs/per___exporta_388
- [2] Asociación de Exportadores, 2014, ADEX: Entorno macroeconómico del Perú sigue siendo estable. Consulta: 05 de abril de 2014. http://www.adexperu.org.pe/noticias/noticiastxt.htm#ADEX:_Entorno_macro_economico_del_Peru_sigue_siendo_estable
- [3] MAXIMIZE, 2012, "Oliva y sus derivados", Riesgos de mercado – Junio 2012, Lima 2012, pp. 16-32.
- [4] Rojas, J. & Córdova, F. & Reyes, V. & Tamariz, C. (2014). Optimización en la Distribución del producto terminado de una Agroindustria en la ciudad de Lima. Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology.
- [5] Olivera, A. (2004). Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos. Montevideo, Uruguay.
- [6] Osvald, A. (2005). The vehicle routing problem with time windows and time dependent travel times: A heuristic approach. PhD. Thesis. Trieste: Università degli studi di Trieste.
- [7] Saaty, T. & Luis G. (2012). Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process. 2da Edición. Boston: Springer US.
- [8] Solomon, M. (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problem with time windows constraints. Operations Research, 35, 254-265.

Authorization and Disclaimer

Authors, Jonatan Edward Rojas Polo, Gianni Reyes Maquín & Eduardo Carbajal authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.