

Análisis de un Modelo de Ubicación de Carga Usando CPLEX Caso. Transporte de Leche UHT en Eur-pallet

Using CPLEX to A Load Location Model Analyzer. Case. UHT Milk Transport in Eur-pallet

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/bilo.5.2.2023.09>

Fecha de Recepción: 30/10/2023. Fecha de Publicación: 14/11/2023

Angela Gómez-Jiménez

Universidad de la Costa. Barranquilla, (Colombia)
<https://orcid.org/0009-0000-3161-0061>

Juan-Pablo Arias-Escobar

Universidad de la Costa. Barranquilla, (Colombia)
jarias17@cuc.edu.co

Jean Pereira-Mejía

Universidad de la Costa. Barranquilla, (Colombia)
Jpereira10@cuc.edu.com

Camilo Pérez-Barraza

Universidad de la Costa. Barranquilla, (Colombia)
cperez59@cuc.edu.co

Andrea Pirabán-Ramírez

Universidad de la Costa. Barranquilla, (Colombia)
<https://orcid.org/0000-0001-6297-2807>

Como citar en IEEE este artículo: A. Gómez-Jiménez y Otros, «Análisis de un Modelo de Ubicación de Carga Usando CPLEX Caso. Transporte de Leche UHT en Eur-Pallet,» Boletín de Innovación, Logística y Operaciones, vol. 5, n° 2, pp. 103-115, 2023. Online. <https://revistascientificas.cuc.edu.co/bilo/article/view/5440>

Resumen

En este estudio se analizó el transporte de la cadena de abastecimiento de la leche y almacenamiento. El objetivo es diseñar un flujo eficiente y efectivo de materiales a través de los sistemas de transporte y distribución en las cadenas. Se identificaron las características de los productos y embalajes. Se investigó específicamente la caja de leche UHT Cañada Real de 1 litro y se seleccionaron los pallets adecuados para el proceso. Se identificaron los clientes y las posibles bodegas, se calcularon los tiempos de ruta entre ellos, Como dimensiones y peso de las unidades de carga y capacidad de los vehículos. Dando como resultado que se pueden transportar 144 cajas de leche en 6 cajas máster y 24 cajas de empaque en un nivel de tendido en un Euro pallet. Utilizando un modelo de localización con capacidad en CPLEX, se logró encontrar una solución óptima que minimiza el costo total a \$22.940.205. Además, se determinó la ubicación de la bodega (bodega número 4) y cantidad de unidades que serán enviadas desde esta a los clientes. Como resultado final, se solucionó

el problema de ruteo de vehículos con capacidad, diseñando la ruta de cada vehículo que iba de la bodega a los clientes, obteniendo el tiempo mínimo de la flota de vehículos de 122 minutos y 3 rutas para satisfacer esta demanda con un turbo.

Palabras clave: Cadena de abastecimiento; Leche de Vaca; Optimización de Rutas; Proceso Logístico; Transporte y Distribución.

Abstract

This study analyzed the milk supply chain transportation and storage. The objective is to design an efficient and effective flow of materials through the transportation and distribution systems in the chains. The characteristics of the products and packaging were identified. Specifically, the Cañada Real 1-liter UHT milk carton was investigated and pallets suitable for the process were selected. Customers and warehouses were identified, route times between them were calculated, as well as the dimensions and weight of the load units and vehicle capacity. As a result, 144 milk cartons can be transported in 6 master cases and 24 packing cases in one level on a Euro pallet. Using a location model with capacity in CPLEX, an optimal solution was found that minimizes the total cost to \$22,940,205. In addition, the location of the warehouse (warehouse number 4) and the number of units to be shipped from the warehouse to the customers were determined. As a result, it was possible to solve the vehicle routing problem with capacity, designing the route for each vehicle moving from the warehouse to the customers, obtaining the minimum time of the vehicle fleet of 122 minutes and 3 routes to meet this demand using a turbo type vehicle.

Keywords: Cow's Milk; Logistics Process; Route Optimization; Supply chain; Transportation and Distribution.

INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se realizó la experiencia acerca de los procesos de abastecimiento de la leche, un producto de consumo diario y uno de los más importantes a nivel mundial. En este caso se tomó el proceso general sin enfocarse en alguna marca o empresa. Su cadena de abastecimiento vincula a los protagonistas y actividades involucrados en la entrega de la leche y los productos lácteos a los clientes, es decir los consumidores finales; La cadena de suministro y sus eslabones son estos:

Granja extractora (Supplier), Extracción de la leche cruda, Empresa de lácteos (Factory Producer), Recepción de materia prima, almacenamiento de materia prima, procesamiento de materia prima (pasteurización homogeneización, ultra pasteurización), envasado, empaçado y almacenamiento, Empresa distribuidora encargada (Distributor), Transporte de los envases de leche desde la planta hasta los mayoristas, Almacenes de cadena mayorista (Wholesaler), comercialización y distribución a los minoristas, Servicio al cliente (minoristas), Almacenes de cadena minoristas (Retailer), Comercialización al consumidor final, Servicio al cliente (consumidor final), Cliente final (Customer), consumir el producto.

El objetivo general del proyecto es diseñar un flujo eficiente y efectivo de materiales a través de los sistemas de transporte y distribución en las cadenas de valor. Los objetivos específicos son: Identificar los principales conceptos y principios en la gestión de los sistemas de transporte y distribución. Relacionar a las variables de calidad, costo, tiempo, flexibilidad para la optimización de las decisiones en los sistemas de transporte y distribución. Diseñar modelos para la optimización de las decisiones de transporte y distribución en las cadenas de abastecimiento.

Como metodología, la práctica de laboratorio se dividió en 5 etapas, en la primera etapa de la experiencia se calculó el peso y las dimensiones del producto el cual son las cajas de leche, tomando desde la medida de la caja, la caja de embalaje, caja de empaquetado y su nivel sobre un pallet, utilizamos un euro pallet al cual le tomamos todas las mediciones y resistencias, finalmente definimos la caja de embalaje para nuestro producto, para lograr una mejor ilustración de nuestras cajas realizamos un modelo 3D de cada una de estas, donde se pueden apreciar sus tamaños y longitudes, posterior a esto se identificó un conjunto de posibles ubicaciones para nuestras bodegas, un conjunto de clientes y los tiempos de viaje entre las bodegas y los clientes, todo esto para realizar un modelo de localización con capacidad que permitirá determinar algunos parámetros para el modelo de ruteo de vehículos, seguido a esto calculamos las dimensiones, peso de la unidad

de carga y la capacidad para distintos tipos de vehículo los cuales transportan el producto, para después poder identificar las capacidades del conjunto de posibles ubicaciones para las bodegas, la demanda del conjunto de clientes, costos fijos y variables, todos estos parámetros los utilizaremos en el modelo de localización con capacidad para definir la localización óptima de las bodegas

Las siguientes secciones son: revisión literaria, metodología, los resultados obtenidos y su discusión. Finalmente se presentarán las conclusiones y referencias

Revisión de la Literatura

En este estudio [1] se busca analizar la gestión de abastecimiento e inventariado de la cadena de suministro del sector lácteo de Colombia, los investigadores encontraron distintos fenómenos y cambios climáticos los cuales pueden afectar altamente esta cadena de suministro, los cuales pueden ser: las estaciones, sequías, movilizaciones sociales, entre otras, por ende se presentó un modelo de optimización donde toman la variables importantes del sistema, los parámetros y restricciones que afectan a la cadena, obteniendo así un modelo de optimización enfocado a la gestión de aprovisionamiento y distribución en la cadena de suministro del sector lactante.

En esta investigación [2] proponen implementar sistemas inteligentes en la cadena de suministro de centros de acopio de leche cruda en la provincia del Azuay, los autores implementan un sistema inteligente para implementar un modelo de gestión triple A, usando un modelo de redes neuronales y algoritmos genéticos como herramientas de apoyo para optimizar la cadena, y el éxito del sistema inteligente se basa en poder implementar criterios de conocimiento y experiencia de los expertos.

En el estudio [3] se investiga la línea de producción de la leche envasada en bolsa y en tetra pack para analizar mediante métodos de valoración de impactos para medir la afectación en el medio ambiente, los autores encontraron que el factor más contaminante de es el factor físicoquímico porque afecta de distintas formas al medio ambiente.

En el siguiente estudio [4] se diseñó un esquema de asociatividad para la cadena de suministro del clúster lácteo en el departamento del Atlántico Colombia, en esta investigación se realizó una herramienta de diagnóstico para dos nodos específicos, los centros de acopio de leche y las industrias transformadoras de lácteos, se basó en 4 factores como la logística, calidad, producción y asociatividad, se aplicó a 12 empresas, esta investigación propone un nuevo esquema para aumentar la competitividad y proporcionar estrategias para ayudar a pequeños productores de leche a tecnificar sus procesos.

En este estudio [5] se busca el mejoramiento de la cadena de suministro de una PYME de la industria láctea mediante la planeación de la producción, manejo de inventarios y distribución de producto terminado, se desarrollan dos aplicaciones las cuales una busca desarrollar un plan de producción, para que la empresa sepa cuánto puede fabricar con la leche que recogió, o cuánta leche debe recoger para satisfacer la demanda y la otra genera una ruta para la distribución del producto terminado a los clientes para cada camión a menor costo.

En este estudio [6] se hace el diseño de un paletizado capaz de reducir los tiempos de preparación al elaborarlo por un solo operario y manteniendo el empaque intacto, son la especial ventaja de que eran envases metálicos colocados en el pallet a través de un cabezal magnético.

En este estudio [7] se hace aplicación de un sistema de paletización específicamente para lubricantes Shell, con el objetivo de garantizar una mayor seguridad al ser puesto sobre el pallet y luego analizar su impacto en los procesos de planeación, compra y por supuesto las operaciones relacionadas al almacenamiento y transporte.

En este estudio [8] Se busca la expansión de tiendas a conveniencia en áreas de alto tráfico y su impacto en la distribución de productos lácteos. Se propone un modelo de programación entera mixta que indica que es mejor utilizar dos plataformas logísticas con el vehículo de menor capacidad para abastecer los centros de consumo en Bogotá, con un costo operacional aproximado de US\$15314 diarios.

En el siguiente estudio [9] La cadena de suministro es crucial en la organización y el desempeño logístico de las empresas, ya que implica el flujo de materiales desde las fuentes de materia prima hasta los consumidores. En este proyecto, se busca formular un modelo de enrutamiento de vehículos para minimizar la distancia de recolección de leche en una flota heterogénea. Se realizará un diagnóstico, recopilación de datos y se establecerá una estrategia de solución y análisis de resultados.

En el siguiente estudio [10] Este trabajo busca optimizar la red de distribución de leche de LICONSA en Chihuahua mediante la ubicación estratégica de centros de distribución. Se analiza la estructura actual de la empresa y se revisan modelos matemáticos para la localización de instalaciones. Se plantea un modelo matemático que responde a las necesidades de la empresa y se sugiere un escenario óptimo para mejorar la distribución.

En el siguiente estudio [11] Se diseña un modelo matemático para la planificación óptima de la distribución semanal de productos de consumo humano de una empresa en el cantón Rumiñahui. Se enfoca en los productos principales de leche, queso y mantequilla. Los resultados del modelo permiten utilizar los recursos de la empresa de manera óptima, reduciendo los costos de distribución y satisfaciendo la demanda de los clientes. Este modelo se puede aplicar a otras empresas similares en la distribución de productos de consumo masivo.

En el siguiente estudio [12] aplicación de Cloud Manufacturing en la industria láctea uruguaya. Se plantean modelos matemáticos para la asignación de órdenes y la planificación de tareas, optimizando costos y tiempos de fabricación. Los resultados demuestran que la integración de los modelos permite satisfacer la demanda, y se llevan a cabo análisis de sensibilidad para examinar la solidez de los resultados. El proyecto logra una primera vinculación exitosa de la industria con este nuevo paradigma.

Metodología

Etapas 1: En esta etapa era indispensable conocer las características físicas del producto y de su empaque, junto con las de los pallets disponibles en el mercado, para decidir cuál es el mejor conveniente para la actividad. Por estas consideraciones se investigó a través de distintos portales web y artículos las características de la caja leche de 1 litro y de sus empaques, además de la resistencia del pallet seleccionado; con base en esto se determinó cuánto es la carga transportada y, con estos datos, completar las tablas 1,2,3 y 4. Una vez con los cálculos realizados y haber escogido el tipo de pallet se hace la distribución de cómo deberían ir ubicados los empaque en la superficie de este y cómo deberían ir apilados.

Etapas 2: Como primer paso en esta etapa, se registra en una tabla las posibles 5 ubicaciones para las bodegas que suministrarán los productos. Seguido a estos se con ayuda de Google Maps se identifican los 16 posibles clientes minoristas distribuidos entre 4 zonas diferentes de Barranquilla cuyas direcciones y coordenadas de latitud y longitud serán registradas en una segunda tabla. Finalmente se calcula los tiempos de viaje (minutos) en carro desde cada posible localización de las bodegas a cada cliente identificado y se registra esa información en una tercera tabla.

Etapas 3: En esta etapa se calculan las dimensiones y el peso de la unidad de carga y la capacidad de los diferentes tipos de vehículos disponibles según los datos de la tabla previa de dimensiones y capacidades de vehículos y de pallets.

Etapas 4: Para esta etapa se tomó la información de las tablas anteriores para determinar la ubicación de la bodega y evaluar sus costos fijos y variables según la demanda de los clientes, asumiendo que solo se cuenta con 3 vehículos tipo turbo y 4 tipos de clientes minoristas menores (Ecu 1), pequeños (Ecu 2), medianos (Ecu 3) y grandes (Ecu 4); además, cada bodega puede suplir hasta un 20% adicional la demanda de los clientes minoristas y con base en esto se calcula la capacidad de cada sitio potencial. Para finalmente, solucionar el modelo matemático de localización con capacidad usando CPLEX. deben ir ubicados los empaques en la superficie del pallet y cómo deberían ir apilados.

$$d_{menor} = \frac{0.1uQ}{4}(1) \quad d_{menor} = \frac{0.1uQ}{4}(1) \quad d_{mediano} = \frac{0.2uQ}{4}(3) \quad d_{grande} = \frac{0.3uQ}{4}(4)$$

Los parámetros y las variables por implementar son las siguientes:

Parámetros

n: Número de posibles ubicaciones para las instalaciones

m: Número de mercados o puntos de demanda

d_j : Demanda del mercado j [unidades/día]

q_i : Capacidad potencial de la instalación i [unidades/día]

f_i : Costo fijo para mantener abierta la instalación i [\$/día]

c_{ij} : Tiempo de viaje de la instalación i al mercado j [min]

h: Costo de mantenimiento del inventario [\$/unidad]

t: Costo de transporte [\$/unidad-min]

Variables de decisión

X_{ij} : Unidades enviadas desde la instalación i al mercado j [unidades/día]

y_i : 1 si la instalación i es abierta, 0 de lo contrario

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n f_i y_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (h + t c_{ij}) x_{ij} \quad (5)$$

Sujeto a,

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = d_j \quad \forall j = \{1, \dots, m\} \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq q_i y_i \quad \forall i = \{1, \dots, n\} \quad (7)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i = \{1, \dots, n\} \quad (8)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i = \{1, \dots, n\}, \forall j = \{1, \dots, m\} \quad (9)$$

Etapla 5: Esta práctica tiene como objetivo diseñar las rutas de la flota de vehículos disponible para atender a las necesidades de sus clientes. Inicialmente se consideran los clientes identificados, las demandas de los clientes y la bodega localizada en las prácticas anteriores. Se completa la tabla en Excel donde el nodo 1 corresponde al depósito o bodega y los nodos 2 al 17 a los clientes. Seguido a esto se estima el tiempo de transporte (minutos) en carro entre cada par de nodos usando Google Maps asumiendo que la matriz de tiempos es simétrica.

Conjuntos

V : Conjunto de clientes, $V = \{2, \dots, n\}$

V' : Conjunto de todos los nodos, $V' = \{1, \dots, n\}$

A : Conjunto de arcos, $A = \{(i, j) \mid i, j \in V', i \neq j\}$

K : Conjunto de vehículos, $K = \{1, \dots, u\}$

Parámetros

N : Número de nodos

U : Número de vehículos

c_{ij} : Distancia o tiempo de viaje del arco $(i, j) \in A$

d_i : Demanda del nodo $i \in V'$ [Unidades]

q : Capacidad de los vehículos [Unidades]

Variables de decisión

x_{ij}^k : 1 si el arco $(i, j) \in A$ es usado por el vehículo $k \in K$, 0 de lo contrario

t_i : Variable auxiliar para eliminación de sub-tours. Registra el acumulado de las demandas suplidas hasta el nodo $i \in V'$

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n \sum_{k=1}^u c_{ij} x_{ij}^k \quad (10)$$

Sujeto a,

$$\sum_{j=2}^n x_{1j}^k = 1 \quad \forall k = \{1, \dots, u\} \quad (11)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij}^k = \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ji}^k \quad \forall j = \{1, \dots, n\}, k = \{1, \dots, u\} \quad (12)$$

$$\sum_{i=1, j \neq i}^n \sum_{k=1}^u x_{ij}^k = 1 \quad \forall j = \{2, \dots, n\} \quad (13)$$

$$d_i \leq t_i \leq q \quad \forall i = \{2, \dots, n\} \quad (14)$$

$$t_j - t_i \geq d_j - q + q x_{ij}^k \quad \forall i = \{1, \dots, n\}, j = \{2, \dots, n\}, i \neq j, k = \{1, \dots, u\} \quad (15)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in A, k = \{1, \dots, u\} \quad (16)$$

$$t_i \in R^+ \quad \forall i = \{1, \dots, n\} \quad (17)$$

Resultados Y Discusión

El proceso logístico de almacenamiento para el transporte es una parte importante en la cadena de abastecimiento del producto; por esta razón para la primera etapa de la práctica de laboratorio, se calculó el peso y las dimensiones del producto, de la caja de empaque y embalaje, y del nivel o tendido sobre un pallet; toda esta información mostrada en las Tabla 1-2-3 y 4.

El producto seleccionado para los cálculos es la Caja de 1 litro de leche UHT Cañada Real y su caja de empaque (Figura 1) y el tipo de pallet que se va a utilizar será un Euro pallet.



Figura 1. Leche UHT Entera Cañada Real. **Fuente:** Cañada Real [13].

Tabla 1. Cálculo y dimensión Caja de leche. **Fuente:** Elaboración propia.

Producto: Caja de leche UHT Cañada Real		
PESO		
Peso Envase	35	gr
Peso Etiqueta	0	gr
Peso Contenido	1030	gr
Peso Total	1065	gr
DIMENSIONES		
Largo	9	cm
Ancho	12,5	cm
Alto	20,7	cm

Tabla 2. Cálculo y dimensión Caja de Empaques. **Fuente:** Elaboración propia.

Producto: Caja de empaque		
PESO		
Peso Envase	100	gr
Peso Etiqueta	0	gr
Peso Contenido	6390	gr
Peso Total	6490	gr
No Productos	6	unid (cajas de leche)
DIMENSIONES		
Largo	19	cm
Ancho	38,5	cm
Alto	21,4	cm

Tabla 3. Dimensiones del pallet. **Fuente:** Elaboración propia.

Pallet: euro pallet		
DIMENSIONES		
Largo	80	cm
Ancho	120	cm
Alto	14,5	cm
Resistencia	1500000	gr
Peso	30	kg

Tabla 4. Cálculo y dimensiones Caja máster y Nivel o tendido. **Fuente:** Elaboración propia.

Producto: Caja máster y Nivel o Tendido		
DIMENSIONES CAJA MÁSTER		
Largo	20	cm
Ancho	78	cm
Alto	43,8	cm
Peso caja	100	gr
Peso	26060	gr
No Productos	4	unid (caja de empaque)
Información Del Nivel O Tendido		
Largo	78	cm
Ancho	118	cm
Alto	43,8	cm
Peso	156360	gr
No Productos	6	unid (cajas máster)

Las Figuras 2 y 3 muestran la representación gráfica de cómo se vería la paletización del primer nivel o tendido; Para poder identificar a qué caja se hace referencia, los colores de cada una de estas están relacionados con el color en las tablas (Tabla 1-2-3-4).



Figura 2. Caja de leche UHT Cañada Real y Caja de empaque. **Fuente:** Elaboración propia.

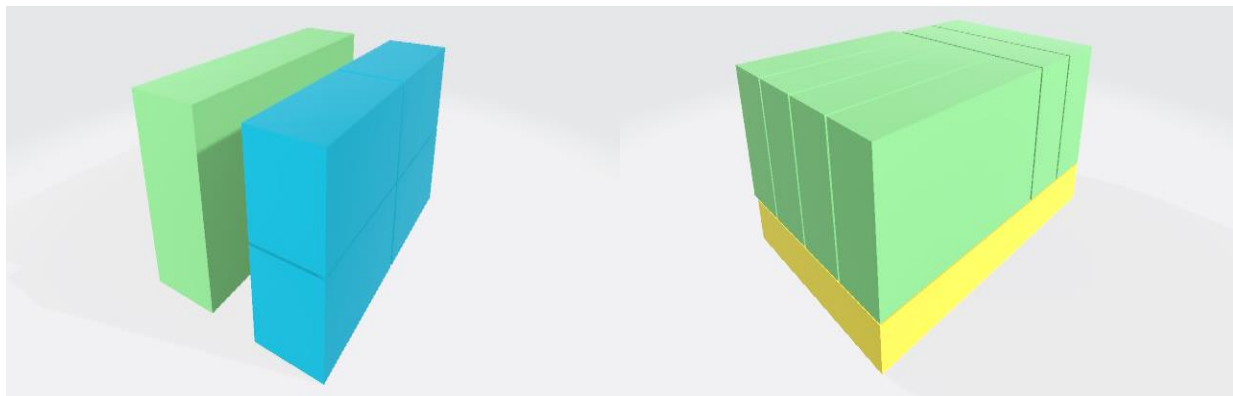


Figura 3. Caja máster o embalaje y Nivel o Tendido. **Fuente:** Elaboración propia.

Con estos datos se busca diseñar el sistema de transporte y distribución de las cajas de leche desde un almacén hasta los mercados; en las etapas 3, 4 y 5, se seleccionan las variables y datos que se utilizarán para ello.

Se identificaron los parámetros del modelo de localización con capacidad; a continuación, se muestran los cinco sitios potenciales en Barranquilla para localizar bodegas (Tabla 5), los 16 clientes minoristas identificados a los cuales alguna de estas suministrará los productos (Tabla 6).

Las demandas para cada cliente se calcularon usando las ecuaciones 1-2-3 y 4, basadas en los 4 tipos de clientes que cada zona podía tener (Grande, mediano, pequeño y menor), se definió el tipo de cliente aleatoria para cada uno.

Tabla 5. Sitios potenciales en Barranquilla para localizar bodegas. **Fuente:** Elaboración propia.

Índice	Dirección	Capacidad [unid/día]	Costo fijo [\$/unid]	Costo fijo [\$día]
1	Cra. 6 sur #47 – 75	9341	\$1.256,7	\$11.738.835
2	Cra. 17 #41 – 107	9341	\$1.257,1	\$11.742.571
3	Cra. 35 #53 – 61	9341	\$1.269,9	\$11.862.136
4	Cra. 41 # 68 – 2	9341	\$1.276,7	\$11.925.655
5	Calle 76 # 44 – 2	9341	\$1.293,3	\$12.080.715

Tabla 6. Clientes identificados. **Fuente:** Elaboración propia.

Índice	Cliente	Tipo	Demanda [unid/día]
1	Éxito Buenavista Wow	Grande	778
2	Olímpica Alameda del Río 066	Mediano	519
3	Megatiendas Único	Pequeño	389
4	Tiendas D1 tabor	Menor	260
5	Olímpica	Grande	778
6	Tiendas ara	Pequeño	389
7	Tiendas D1	Menor	260
8	Éxito San Francisco	Mediano	519
9	Olímpica Los Olivos	Grande	778
10	Tiendas Ara Caribe Verde	Mediano	519
11	Tiendas Ara	Pequeño	389
12	Tiendas Ara la manga	Menor	260
13	Sao La Macarena	Mediano	519
14	Olímpica La Unión	Pequeño	389
15	Éxito Murillo - Barranquilla	Grande	778
16	Megatiendas	Menor	260

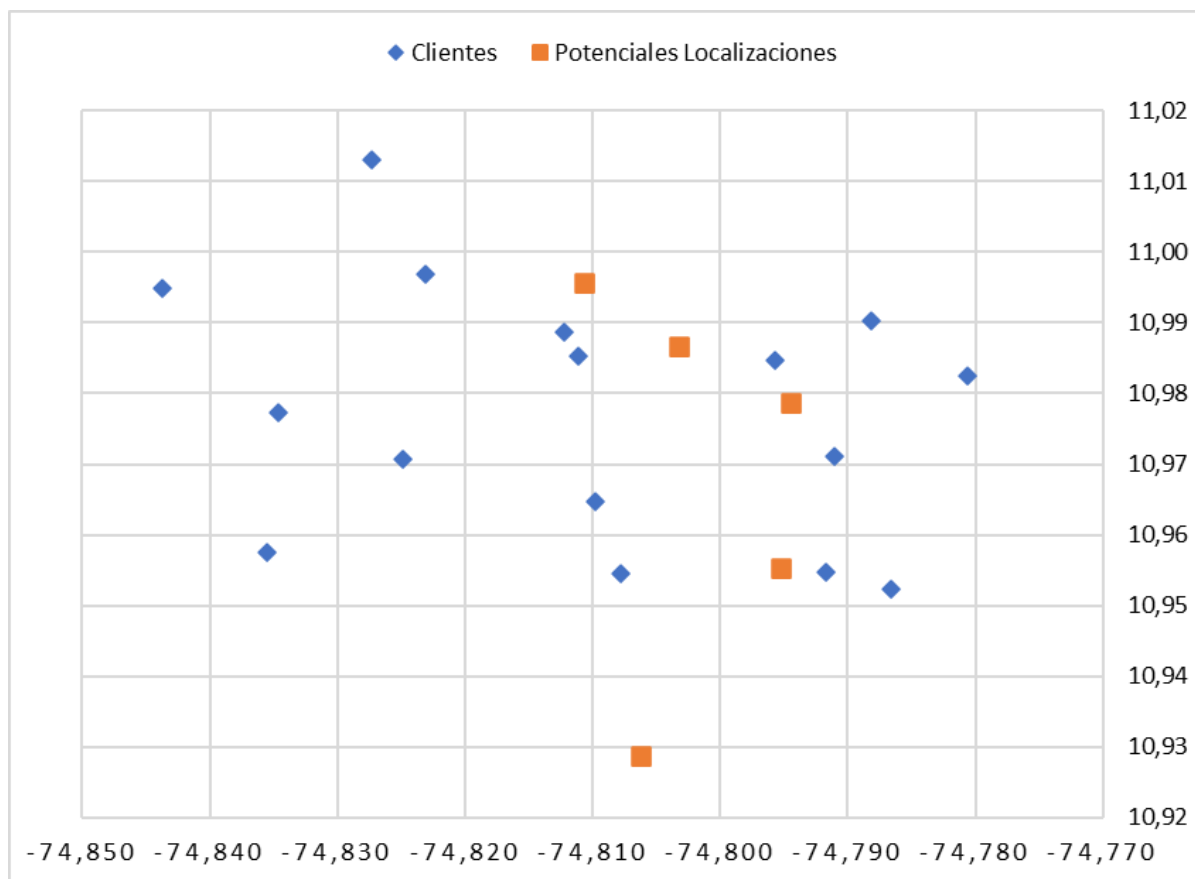


Figura 4. Diagrama de dispersión sitios potenciales y clientes minoristas. **Fuente:** Elaboración propia.

Se calcularon las dimensiones y peso de la unidad de carga y la capacidad de diferentes vehículos para transportar la caja de leche (Tabla 7), comparando el número de unidades de carga que caben en cada uno, considerando la altura máxima que pueden tener según la altura de cada vehículo.

Tabla 7. Dimensiones y peso de la unidad de carga por cada tipo de vehículo. **Fuente:** Elaboración propia.

Tipo de vehículo	Unidad de carga			
	Largo [m]	Ancho [m]	Alto [m]	Peso [kg]
Turbo	1,2	0,8	1,897	655,44
Sencillo	1,2	0,8	2,335	811,8
Doble troque	0,8	1,2	2,335	811,8
Doble troque (4 manos)	1,2	0,8	2,335	811,8
Mini mula	0,8	1,2	2,335	811,8
Tractomula	1,2	0,8	2,335	811,8

Tabla 8. Capacidad de cada tipo de vehículo en número de unidades de carga y de productos. **Fuente:** Elaboración propia.

Tipo de vehículo	No de unidad de carga	Número de productos
Turbo	6	3456
Sencillo	8	5760
Doble troque	20	14400
Doble troque (4 manos)	21	15120
Mini mula	20	14400
Tractomula	30	21600

Teniendo todos los datos se plantea y soluciona el modelo matemático de localización con capacidad usando ILOG CPLEX mostrados en la fase 5 y respondiendo a las siguientes preguntas: ¿Dónde se deben localizar las bodegas? ¿Cuántas unidades serán enviadas desde cada bodega a cada cliente? ¿Cuál será el costo total de la red propuesta?

El costo total de la red propuesta será de \$22.940.205 (resultado variable z), siendo esta la solución óptima; la bodega que se debe localizar será la número 4 en la Cra. 41 # 68 – 2 (resultado variable y) y esta distribuirá a los diferentes clientes de la siguiente manera (variable x):

Tabla 9. Distribución de las bodegas a los diferentes clientes. **Fuente:** Elaboración propia.

(i)	Clientes (j)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	778	519	389	260	778	389	260	519	778	519	389	260	519	389	778	260
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: Bodegas = i, Bodega 1: Cra. 6 sur #47 – 75, Bodega 2: Cra. 17 #41 – 107, Bodega 3: Cra. 35 #53 – 61, Bodega 4: Cra. 41 # 68 – 2, Bodega 5: Calle 76 # 44 – 2.

Con estos nuevos resultados, se procede a la siguiente fase del proyecto, donde se plantea y resuelve el problema de ruteo de vehículos con capacidad (CVRP), para diseñar las rutas de la flota de vehículos que irán desde la bodega 4, hasta los 16 clientes que tenemos para atender sus necesidades; todo esto usando el modelo matemático planteado en la fase 6 a través de ILOG CPLEX, para así responder a las siguientes preguntas: ¿Cuál es el tiempo mínimo de viaje de la flota de vehículos? ¿cuáles son las rutas optimas de la flota de vehículos para satisfacer la demanda de los clientes?

Tabla 10. Rutas para cada vehículo. **Fuente:** Elaboración propia.

Inicio (i)	Final (j)	No carro
1	12	1
2	5	1
3	2	1
4	1	1
5	4	1
11	3	1
12	13	1
13	11	1
10	9	2
9	1	2
8	10	2
1	8	2
17	16	3
16	6	3
15	14	3
14	17	3
7	15	3
6	1	3
1	7	3

El tiempo mínimo de viaje de la flota de vehículos es de 122 min; de los cuales 47 min, 18 min y 57 min, son de la ruta de los carros 1, 2 y 3 respectivamente. Las rutas optimas de estos vehículos para satisfacer la demanda de clientes es la siguiente; tomando en cuenta que estos clientes iguales a los mostrados en la tabla 6, pero estos se mueven una posición hacia abajo en la lista, a causa de que para este tipo de modelo nuestra bodega se convierte en la ubicación 1 o de inicio:

Ruta 1: Sale de la bodega 4, para luego seguir la siguiente ruta cliente 12 (Tiendas Ara), cliente 13 (Tiendas Ara la manga), cliente 11 (Tiendas ara Caribe Verde), cliente 3 (Olímpica Alameda del Rio 066), cliente 2 (Éxito Buenavista WOW), cliente 5 (Tiendas D1 tabor) y cliente 4 (Megatiendas C.C. Único), para finalmente regresar a su punto de inicio.

Ruta 2: Sale de la bodega 4, para luego seguir la siguiente ruta cliente 8 (Tiendas D1), cliente 10 (Olímpica Los Olivos) y cliente 9 (Éxito San Francisco), para regresar a su inicio.

Ruta 3: Sale de la bodega 4, para luego seguir la siguiente ruta cliente 7 (Tiendas ara), cliente 15 (Olímpica La Unión), cliente 14 (Sao la Macarena), cliente 17 (Megatiendas), cliente 16 (Éxito Murillo) y cliente 6 (Olímpica), para finalmente regresar a su punto de inicio.

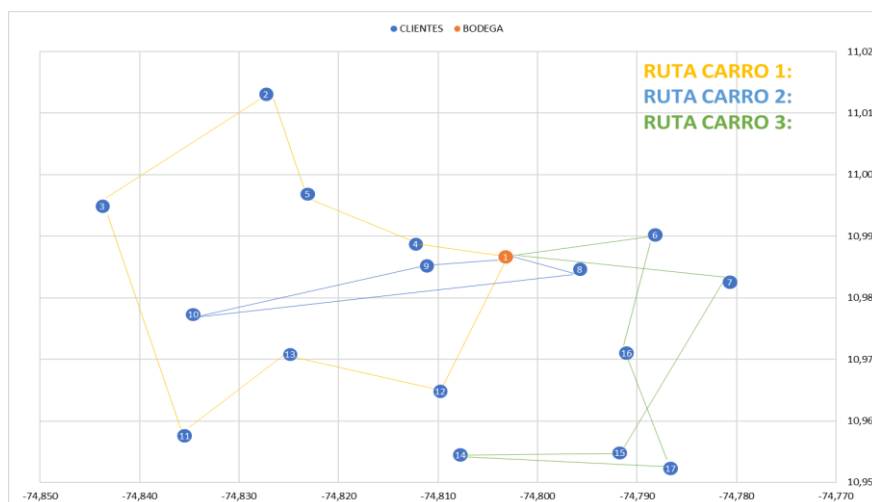


Figura 5. Rutas para cada vehículo. **Fuente:** Elaboración propia.

Conclusiones

En esta primera etapa encontramos que los objetivos se cumplieron, así que la cantidad de productos y/o cajas por nivel-tendido óptimo sería de: 6 cajas máster, en las que habrá 24 cajas de empaque, en las que se transportarán 144 cajas de leche. En la segunda etapa logramos identificar el conjunto de ubicaciones para las bodegas, el conjunto de clientes y los tiempos de viaje desde las bodegas desde cada una de las 4 zonas, obtenido los tiempos cada una de las bodegas y sus clientes. En la tercera etapa identificamos las dimensiones de cada uno de los vehículos dados los cuales eran de 6 tipos, posterior a esto obtuvimos la capacidad de carga y número de producto que cada vehículo puede llevar, todo esto para saber cuántas unidades de producto se pueden transportar en los vehículos.

En esta cuarta etapa dado los resultados obtenidos en cada una de las fases para completar el modelo de localización con capacidad, la solución óptima dada por este modelo es que la bodega se debe localizar en la número 4 en la Cra. 41 # 68 – 2 dando un resultado de \$22.940.205. En esta quinta etapa con los datos obtenidos anteriormente se procedió a realizar el problema de ruteo de vehículos con capacidad desde la bodega 4 hasta los 16 clientes, el tiempo mínimo de viaje ofrecido por el algoritmo de Cplex fue de 122 min de los cuales 47 min, 18 min y 57 min, son de la ruta de los carros 1, 2 y 3 respectivamente; estas siendo las rutas óptimas ofrecidas por el modelo de ruteo de vehículos con capacidad (CVRP) con tiempo total de 122 min.

Podemos observar que una posible mejora sería realizar una comparación entre los datos tomados por la empresa con sus empaques comparados a las empaques y embalajes que tomamos según las medidas ajustadas y específica para poder observar qué tan acertados están nuestros cálculos con los de la empresa, realizar cada una de las tomas de capacidades de los vehículos y sus dimensiones con datos reales para poder así tener resultados más acertados a la realidad, también se recomienda para el modelo CVRP crear la matriz de distancias de tiempo real sin asumir que la matriz es asimétrica para obtener con más exactitud las rutas

Referencias

- [1] E. Gómez Verjel, A. Pérez Simanca, M. S. Carrillo Landazábal y H. Cohen Padilla, «Modelo de gestión de la cadena de suministro para el sector lácteo colombiano.,» *Panorama Económico*, vol. 26, n° 2, pp. 187-206, 1 Abril 2018.
- [2] K. Dutta Choudhury y M. Dutta Choudhury, «Antifungal and antiprotozoal activity of some members of Rubiaceae-a review,» *NBU Journal of Plant Sciences*, vol. 5, n° 1, pp. 8-14, Marzo 2011.
- [3] A. N. Chamorro Pozo y C. L. Villacorte Lara, «La cadena de suministro de la leche envasada en la Industria Lechera Carchi S.A. y la afectación en el medio ambiente,» *Repositorio UPEC*, Junio 2019.
- [4] K. SALAS-NAVARRO, T. OBREDOR-BALDOVINO, G. GONZÁLEZ-LAVERDE y N. MERCADO-CARUSO, «Diseño de esquema de asociatividad para la cadena de suministro del Clúster Lácteo en el Departamento del Atlántico de Colombia,» *ESPACIOS*, vol. 39, n° 50, p. 11, 15 12 2018.
- [5] L. F. Acevedo Quintero, C. Jaimes Ramírez, J. P. Prada Rodríguez y L. V. Usaquén Gongora, *Mejoramiento de la cadena de suministro de una PYME de la industria láctea mediante la planeación de la producción, manejo de inventarios y distribución de producto terminado*, 2019.
- [6] J. A. Sánchez Paredes, *Diseño de un sistema de paletizado de lata llena en una empresa de lácteos, Arequipa 2019*, Universidad Continental, 2019, p. 79.
- [7] M. I. Lésmez Gómez, «Diseño e Implementación del proceso de paletización de los lubricantes Shell en Colombia,» 22 Mayo 2015.
- [8] O. J. Herrera Ochoa, A. Bedoya y N. Y. Obando Roza, «Modelo matemático de asignación multiproducto para la distribución de lácteos,» *Ingeniería Industrial*, vol. 19, n° 1, pp. 1-20, 2020.
- [9] J. S. Salcedi Gil, *PROPUESTA DE RUTEO PARA UNA FLOTA HETEROGÉNEA DE VEHÍCULOS EN LA RECOLECCIÓN DE LECHE DE UNA EMPRESA DEL EJE CAFETERO*, ZARZAL: UNIVERSIDAD DEL VALLE, 2018.

- [10] I. Flores Ayala, *Optimización de la red de distribución de leche para la máxima cobertura de demanda en Chihuahua*, 2015.
- [11] R. F. León León, *Diseño de un modelo matemático para la optimización de la distribución a nivel secundario de una empresa de productos lácteos de cantón rumiñahui*, Guayaquil, 2021.
- [12] A. Halty Rivero, R. Sánchez Varela y V. Vázquez Dalmás, *supply chain en entornos de cloud Manufacturing aplicación en la Industria láctea Uruguay*, 2021.
- [13] «Cañada Real de Soria,» 2023. [En línea]. Available: <https://xn--caadarealdesoria-7tb.es/producto/leche-uht-entera/>. [Último acceso: Mayo 2023].