

Gestión de Cadena de Suministros y Logística del Yogur

Yogurt Supply Chain and Logistics Management

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/bilo.5.2.2023.13>

Fecha de Recepción: 25/11/2023. Fecha de Publicación: 02/12/2023

Karolay Assan-Barrios

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

Lia Valentina Castro-García

Universidad de la Costa. Barranquilla, (Colombia)
lcastro69@cuc.edu.co

Diana Fontalvo-Altamiranda

Universidad de la Costa. Barranquilla, (Colombia)
dfontalv22@cuc.edu.co

Camilo Andrés Jimenez-Coronell

Universidad de la Costa. Barranquilla, (Colombia)
cjimenez43@cuc.edu.co

Stefania Ramírez-Giraldo

Universidad de la Costa. Barranquilla, (Colombia)
sramirez13@cuc.edu.co

Como citar en IEEE este artículo: K. Assan-Barrios y Otros, «Gestión de Cadena de Suministros y Logística del Yogur» *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, vol. 5, n° 2, pp. 144-160, 2023. Online. <https://revistascientificas.cuc.edu.co/bilo/article/view/5500>

Resumen

El presente caso de estudio tuvo como objetivo identificar y analizar la cadena de abastecimiento del yogur, producto lácteo que cuenta con grandes beneficios para la salud debido a sus componentes nutricionales, relacionando así los principales procesos logísticos que intervienen, de igual forma implicó el reconocimiento de las variables en una red de abastecimiento junto con su relación respecto a calidad, costo, tiempo, flexibilidad para la optimización de decisiones en sistemas de transporte y distribución, a partir del diseño de modelos de localización y ruteo de vehículos con capacidad. La metodología utilizada fue investigativa y analítica, por tanto, se realizó la búsqueda de información relevante para determinar los eslabones y procesos logísticos que hacen que sea posible la implementación de la cadena de abastecimiento del producto, seguidamente partiendo del cálculo de las dimensiones, peso del producto, caja de embalaje y tendido se seleccionó el euro pallet, además se consideró un conjunto de bodegas y clientes en Barranquilla en conjunto con tiempos de viaje, posteriormente con las características de unidad de carga y capacidad de vehículos, demanda y costos se diseñó un modelo de localización con capacidad. Para luego formular un modelo CVRP, obteniendo así una ruta que visita todos los clientes, suple la demanda y minimiza la distancia. Concluyendo así con la definición de los

factores inmersos dentro del proceso de fabricación, almacenamiento y distribución del producto e igualmente siendo la bodega tres la más factible, resultando en una cadena de valor con un flujo eficiente y rápido

Palabras clave: Logística, abastecimiento, distribución, suministro, lácteos.

Abstract

The objective of this case study was to identify and analyze the supply chain of yogurt, a dairy product that has great health benefits due to its nutritional components, thus relating the main logistical processes involved, likewise implying the recognition of the variables in a supply network together with their relationship with respect to quality, cost, time, flexibility for the optimization of decisions in transportation and distribution systems, based on the design of location models and routing of vehicles with capacity. The methodology used was investigative and analytical, therefore, the search for relevant information was carried out to determine the links and logistic processes that make the implementation of the product supply chain possible, then starting from the calculation of the dimensions, weight of the product, packaging box and laying, the euro pallet was selected, in addition, a group of warehouses and clients in Barranquilla was considered together with travel times, later with the characteristics of unit load and vehicle capacity, demand and costs, a location model with capacity. To then formulate a CVRP model, thus obtaining a route that visits all customers, supplies the demand, and minimizes the distance. Thus, concluding with the definition of the factors involved in the process of manufacturing, storage and distribution of the product and being the warehouse three the most feasible, resulting in a value chain with an efficient and fast flow.

Keywords: Logistics, catering, distribution, supply, dairy.

Introducción

La industria de lácteos se encuentra en crecimiento continuó reflejándose en la expansión del mercado por medio de las oportunidades que brindan los avances tecnológicos en función de alimentación, conservación y producción, específicamente el sector de lácteos colombiano, enfrenta retos en cuanto al incremento de su productividad, siendo así que debe implementar modelos eficientes que permitan el posicionamiento de productos colombianos en los mercados internacionales, es así como a través del procesamiento de la leche se logra un producto final con diversas variantes que se adaptan al gusto del cliente, entre estos se encuentra el Yogur, un alimento con beneficios significativos por su riqueza nutricional resultado de la fermentación [1]. Con base en lo expuesto, en el presente caso de estudio se seleccionó el Yogur para el análisis de la cadena de abastecimiento, llegando a establecer una relación con los principales procesos logísticos, dando como resultado a gran escala el identificar los principales procesos y principios logísticos, derivando a su vez con la comprensión de la importancia del diseño de rutas o cadenas óptimas y rentables en la industria. Por otra parte, lograr comprender el concepto e importancia de la sustentabilidad implicado en la participación de los factores que intervienen en una red de abastecimiento al llegar a diseñar modelos de optimización que permitan gestionar de mejor forma los procesos y tomar decisiones en el momento justo basándose en los criterios de calidad, costo, tiempo, eficiencia y flexibilidad a lo largo de los sistemas de transporte y distribución de productos lácteos más específicamente en el Yogur.

De este modo, como lo expuesto anteriormente, se puede añadir con relación al producto seleccionado que el yogur es una leche fermentada con bacterias lácticas específicas que ocasionan la transformación de la consistencia líquida a coagulada, generando así el producto terminado. Esto se logra con determinados procesos, como la, homogeneización, la pasteurización, almacenaje, refrigeración, entre otros, que logra crear el producto final y, a su vez, distribuirlo para la accesibilidad del cliente. De manera que la cadena de abastecimiento está estructurada de la siguiente forma, *Supplier (Proveedores)*, compuestos por proveedor de leche, aditivos, de empaque y cultivadores, *Factory Producer (Productor)*, que son las plantas de pasteurización y empresas pertenecientes a la Industria de lácteos, *Distributor (Distribuidor)*, donde se encuentra el transporte especializado en productos lácteos, furgones refrigerados o camiones cisterna de aluminio y empresas que prestan el servicio de transporte(eslabón), *Wholesaler(Mayorista)*, participan los centros de distribución y puntos de venta, *Retailer(Minoristas)*, que implican las tiendas, almacenes de cadena y supermercados. Por último, se encuentra *Customer (Clientes)*, es decir, los consumidores. Con base en esto se llega a establecer una relación entre los principales procesos logísticos con los eslabones de la cadena de abastecimiento, especificados de la siguiente manera, *Suministro*, se relaciona con los Proveedores debido a que esta es la fase de aprovisionamiento, es decir, se adquiere toda la materia prima indispensable, Leche o leche pasteurizada y estandarizada en su contenido de materia grasa y cultivos de bacterias lácticas, para realizar el proceso que dará como resultado el producto final, siendo en este caso el yogur. El *Almacenamiento* tiene relación con el Productor, luego de transformar los suministros en un producto terminado y de realizar una fabricación en serie, se encarga de conservarlo y de hacer seguimiento o control de las cantidades disponibles

para entregárselo al distribuidor. Asimismo, la *Gestión de inventario* se encuentra relacionada con el Distribuidor puesto que, en la gestión de inventarios, se encarga del ingreso y salida de los artículos de forma estratégica y sin generar pérdidas significativas para la empresa. El producto terminado se embala en canastas de polietileno de alta densidad para mayor seguridad. Seguidamente, está el *Transporte*, la empresa encargada de la distribución, se convierte en el intermediario entre la fábrica y el cliente, siendo fundamental para ellos la gestión adecuada del transporte, logrando que sea rentable para todas las partes. Y como se mencionó anteriormente, se distribuye en canastas de alta densidad para evitar derrames y productos defectuosos. Finalmente, el último proceso logístico es *Servicio al cliente*, el mayorista es el encargado de recibir la mercancía del distribuidor y enviar a diferentes almacenes de cadenas grandes cantidades para suplirlos y a su vez, vendan y entreguen el producto terminado al cliente, el Minorista se encarga de la compra limitada y venta en menor cantidad para posteriormente el consumidor obtenga el producto final y el cliente adquiere el producto final para su consumo.

La problemática que se aborda a través del estudio es el diseño de una cadena de abastecimiento con un flujo más eficiente y efectivo a través de la optimización de los sistemas de transporte y distribución, debido a que se llegan a presentar mayores costos o se exceden los tiempos de viaje entre rutas por la falta de un diseño estratégico, igualmente esto presenta un impacto considerable con relación a la maximización de la ocupación de los vehículos y el número de repartos. De este modo, este planteamiento, que aborda el problema de localización y ruteo de vehículos desde el establecimiento de una bodega y una flota de vehículos, logrando satisfacer la demanda de 16 clientes minoristas identificados a lo largo de cuatro zonas, tiene su finalidad en la comprensión de las cadenas de valor y como por medio de herramientas como formulación de modelos matemáticos se puede llegar a una ruta óptima, a partir de los parámetros establecidos. La base metodológica es investigativa y analítica, propiciando la búsqueda de información y en función de esto hacer reconocimiento de los factores que intervienen en la producción desde la perspectiva logística, así pues, también se determinó la localización de una bodega que supla la demanda, con base en cinco sitios potenciales en la Ciudad de Barranquilla, así mismo se reconocieron clientes minoristas, logrando a través del proceso, la identificación de los parámetros para la construcción del modelo de localización y de ruteo de vehículos, entre las contribuciones se enmarca el hecho de que este estudio puede considerarse para otros trabajos con relación a la cadena de valor del Yogur, llegando a un mayor alcance en cuanto a logística óptima y sostenible. Por último, para mayor comprensión de la estructura del presente informe, en la sección II se encuentra la revisión bibliográfica, en la III la metodología, siguiente a esta en la sección IV están los resultados y discusión, en la V las conclusiones y para culminar las referencias bibliográficas.

Revisión de la literatura

En la industria de lácteos, el consumo de yogur ha aumentado considerablemente al considerarse como fuente de diferentes nutrientes, esenciales y que mejoran la calidad de vida de la persona, en igual forma su composición contribuye al bienestar metabólico y el mayor consumo de otros alimentos saludables como lo son las verduras, frutos secos, frutas, entre otros que aportan al consumidor un estilo de vida adecuado sin desniveles de nutrientes y proteínas [2]. Profundizando más en el producto, para su obtención final y posterior consumo del cliente, entra el papel de la cadena de abastecimiento, la cual se conoce como una red de empresas que en conjunto y a través de ciertos actores logran un producto o servicio final con estándares de calidad y que cumpla con las especificaciones del cliente [3]. Es así que se puede decir que evidentemente en el campo empresarial, tanto en la industria de lácteos como de otras, los procesos logísticos íntimamente relacionados con la cadena de suministro, implican con las nuevas tecnologías una tendencia al cambio, empleando herramientas para el establecimiento de rutas o accesos más rápidos y eficientes que garanticen la calidad como una ganancia significativa frente a la inversión de las empresas o cada uno de los eslabones partícipes, por lo cual el desarrollo logístico va desde la formación, adaptación, innovación y renovación de la industria comenzando con los directivos hasta los colaboradores. [4]

Igualmente, se puede añadir que, a lo largo de la investigación, se encuentran artículos e investigaciones relacionadas con el caso de estudio, de este modo se encontró un artículo basado en el diseño de una cadena de suministro sostenible, donde fue diseñado un modelo de programación lineal compuesto por 4 decisiones y 3 criterios, económicos, costos totales de la red, ambiental, emisiones de carbono y social, también, condiciones laborales y de desarrollo social. El objetivo del modelo es determinar la ubicación y la capacidad óptima por instalación, para así poder determinar cuáles proveedores se eligen de un conjunto de candidatos, para los nodos entre proveedores y plantas, y con estos, definir la cantidad de producto que va de un establecimiento a otro, con el fin de satisfacer la demanda de productos lácteos [5].

Otro caso aplicable es una empresa objeto de estudio ubicado en el eje cafetero, la cual se dedica al procesamiento de leche cruda y sus derivados. La recolección de la leche es realizada por medio de una flota de vehículos con capacidad volumétrica de 21200 litros (doble troque) 2 de 10400 litros (camiones) y 6 de 5300 litros (turbos) estos parten desde el mismo centro de acopio y toda la leche recolectada va directamente a dicho centro donde es procesada, para el posterior

mejoramiento de la cadena se basó en un problema de ruteo de vehículos heterogéneo capacitado, siendo el objetivo principal diseñar un conjunto de rutas con una flota de diferente capacidad hacia clientes dispersos geográficamente [6].

Otros autores plantean en sus investigaciones el modelado de diseños de ruta que mejore el abastecimiento en la recolección de leche, favoreciendo en primera instancia al productor, siendo este el menos beneficiado en la cadena de suministro de la leche. Para darle solución a la problemática se usaron sistemas de información geográfica para modelar rutas óptimas de recolección y se compararon resultados a partir de indicadores. Teniendo en cuenta el problema formulado, se piensa en diseñar mejores rutas de transporte para la recolección y de este modo mejorar el abastecimiento para lograr mayor rentabilidad y sostenibilidad a los productores [7]. De igual manera, se encuentra la aplicación de un estudio de ruteo realizado a la cadena frutícola en Cundinamarca-Bogotá, en el cual se encontraron diversas falencias a lo largo de la cadena. De esta manera, se tuvo en cuenta la realidad del sector y los planes de gobierno, se evidenció la necesidad de ofrecer una solución al problema del transporte en el último tramo de la cadena de abastecimiento en el sector frutícola, ofreciendo mejoras, con un enfoque de ruteo de vehículo VRP para la toma de decisiones. El propósito de este modelo fue generar una mejora en la disminución de los costos logísticos, los cuales son percibidos por el cliente y recaen sobre el valor de la fruta. El primer diseño fue la asignación de la capacidad para los diferentes 79 requerimientos realizada de manera subjetiva, tratando de maximizar la utilización de la capacidad de los vehículos, mientras que la segunda prueba, se obtiene un mayor requerimiento vehicular, una menor utilización de la capacidad, pero un costo final inferior al del primer modelo. Las características propias de cada escenario, demanda por tipo de fruta, cantidad de nodos y distancia entre los mismos, brindan la configuración de la flota y de esta manera también el costo derivado [8].

De igual modo, se desarrolló un diseño de un modelo multiobjetivo de VRP Pick-Up And Delivery Simultáneo (VRPSPD) para el aprovisionamiento de la leche en la cadena de suministros de lácteos, en el que se ejecutó un modelo de VRP multiobjetivo que considera entregas y recogidas simultáneas, flota heterogénea, capacitado, ventanas de tiempo y multi-depósito, que busca la disminución de los costos del proceso en términos de uso del vehículo y de las emisiones de CO2 equivalentes. Considerando entre 10 a 72 nodos, 2 a 6 depósitos y de 2 a 7 vehículos. Para la resolución de las instancias del problema inicialmente el modelo fue resuelto de forma exacta, llegando a alcanzar reducciones en los costos totales de hasta un 18,12% con respecto al escenario actual, generándose tiempos computacionales elevados para alcanzar soluciones óptimas o próximas al óptimo [9].

Por otra parte, complementando el análisis de los diferentes modelos de optimización de capacidad y ruteo de vehículos en la cadena de abastecimiento, se tomó un caso de estudio enfocado en la utilización del método Agente Viajero Múltiple MTSP como modelo para construir o planificar rutas de entrega de alimentos. En el que se analizó el estado actual de la distribución del tubérculo papa, hacia los comercializadores en la ciudad, para poder plantear un algoritmo que permita tomar decisiones a los generados cuando se realice la distribución del alimento. Se siguieron 3 etapas: la primera consistió en el acercamiento al contexto geográfico, determinación de los actores y el diseño de los instrumentos de recolección de información. La etapa 2, el trabajo de campo, se hizo la recopilación, análisis de información secundaria y reconocimiento contextual, la etapa 3, se dio con el modelamiento de la información en los métodos seleccionados; finalmente, al realizar el análisis de los modelos, se concluye que la planificación de las rutas mejoradas y tiempo es precisa hacerla por medio del método Agente Viajero Múltiple (MTSP) [10].

Metodología

En la fase metodológica se consultaron los eslabones que hacen parte de la cadena de abastecimiento y los procesos logísticos que se relacionan con la misma, luego para analizar a profundidad se seleccionó un producto el cual fue el Yogur con un peso aproximado de 1 a 5 kg en la industria de lácteos a partir de esto se identificaron los elementos que intervienen en la cadena de abastecimiento los cuales son Supplier, Factory Producer, Distributor, Wholesaler, Retailer and Customer. Y seguido a esto se validó la relación que posee cada eslabón con los procesos logísticos, los cuales son Suministro, Almacenamiento, Gestión de inventarios, Transporte y Servicio al cliente. Después se procedió a identificar las dimensiones en cuanto a largo, ancho y alto del producto junto con sus respectivos pesos de envase, etiqueta, contenido y total, con la finalidad de utilizarlos posteriormente en la fase de cálculos o tenerlos en cuenta para la distribución.

$$Peso\ total = P_{envase} + P_{etiqueta} + P_{contenido} \quad (1)$$

Luego se seleccionó el tipo de pallets el cual fue euro pallet, que son conocidos por su alta resistencia, confiabilidad y su utilidad en función de sus dimensiones, siendo su principal fabricación con madera, plástico y acero, en cuanto a madera que son los más empleados son preferidos por ser antideslizantes y su buena toleración a temperaturas altas [11], de modo que se tuvo en cuenta las dimensiones siendo 120 cm de largo, 80 cm de ancho y 14,4 cm de alto, para el peso 27000 gr

y con una resistencia de 1500000 gr para el caso de estudio. Posteriormente, se llegó a definir una caja para el embalaje del Yogur, y se especificó la información del nivel o tendido.

$$\text{Peso total de productos en caja} = (\text{Peso total} \times (\text{N}^\circ \text{ de paquetes} \times \text{N}^\circ \text{ de vasos de Yogur})) + \text{peso caja} \quad (2)$$

$$\text{Peso nivel o tendido} = \text{Peso total de los productos en caja} \times \text{N}^\circ \text{ de cajas en un nivel} \quad (3)$$

Para la identificación de los parámetros de localización con capacidad se tienen 5 ubicaciones de bodegas y 16 clientes minoristas con ayuda de la herramienta Google Maps identificando su dirección, latitud, longitud y el tiempo de viaje de cada bodega a cada cliente, determinando 4 clientes por cada una de las zonas designadas donde, aproximadamente, las zonas 1 y 2 están limitadas por la carrera 27 y la calle 72 y las zonas 3 y 4 están separadas por la carretera de la cordialidad.

Tabla 1 Potenciales bodegas en Barranquilla para suministrar el producto Yogur. Fuente: Autores

Índice i	Dirección	Longitud (Coordenada X)	Latitud (Coordenada Y)
1	Cra. 6 Sur #47 – 75	-74,80623	10,92877
2	Cra. 17 #41 – 107	-74,79532	10,95534
3	Cra. 35 #53 – 61	-74,79452	10,97877
4	Cra. 41 # 68 – 2	-74,80321	10,98663
5	Calle 76 # 44 – 2	-74,81067	10,99564

Tabla 2 Clientes minoristas en Barranquilla en el mercado del Yogur. Fuente: Google Maps

Índice	Cliente	Dirección	Zona	Longitud (Coordenada X)	Latitud (Coordenada Y)
1	Carulla	Cl. 82 #50-71, Nte. Centro Histórico	1	-74,82007	11,01132
2	Fruty Land Gourmet	Calle 90# #44-84, Nte. Centro Histórico	1	-74,83258	11,00683
3	Éxito Barranquilla	Cl. 77 #71-49, Nte. Centro Histórico	1	-74,80932	11,01591
4	Goyurt	Cra. 51B, Riomar	1	-74,82067	11,00679
5	Yogurt Kaserito	Cra. 45 #calle 65, Nte. Centro Histórico	2	-74,79680	10,99201
6	Éxito San Blas Barranquilla	Cl. 41 #36 - 81, Sur Orient	2	-74,78399	10,97823
7	Frutisabor	Cra. 39 #37-48, Nte. Centro Histórico	2	-74,78128	10,97937
8	Goyurt-Prado	Calle 53# 46-192, Nte. Centro Histórico	2	-74,78831	10,99023
9	Yogurt Artesanal La Siembra	Cl. 63c #13-39, Suroccidente	3	-74,81283	10,96175
10	Heladería La Merideña	Cl. 53d #17-10 Local 1, Suroccidente	3	-74,80673	10,96353
11	Éxito Murillo Barranquilla	Av. Murillo #26 - 129, Suroccidente	3	-74,79094	10,97027
12	Deli Aleli yogurt griego	Cra. 23 #Calle 48, Suroccidente	3	-74,79504	10,96747
13	Lácteos Yoguring	Cra. 23b #4053, Sur Orient	4	-74,78520	10,96824
14	Éxito Panorama Barranquilla	Cl. 31 #6B, Sur Orient	4	-74,77903	10,94586
15	Olímpica El Parque	Cl. 45 #42 - 19, Cisneros, Soledad, Atlántico	4	-74,79809	10,93246
16	Olímpica La Unión	Cl. 36b # 13c - 44, Carrera 14 #35b-61	4	-74,79247	10,95427

Tabla 3 Tiempos de viaje (minutos) en carro desde bodegas a clientes minoristas. Fuente: Google Maps

Posibles Bodegas	Clientes [minutos]															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1																
2	33	22	34	25	28	23	25	29	16	16	22	20	19	15	9	14
3	32	27	23	31	16	10	11	16	8	6	8	6	5	7	12	3
4	16	18	15	26	6	6	7	7	10	8	5	5	8	16	22	13
5	11	12	11	20	8	8	9	8	11	10	9	10	11	19	24	17
6	6	7	8	11	5	13	13	14	16	15	14	19	15	23	28	25

Posteriormente, se hizo el cálculo para obtener la capacidad, el número de unidades de carga y el número de producto por cada vehículo (turbo, sencillo, Dobletrouque, Dobletrouque 4 manos, minimula y tractomula) para esto, se tienen en cuenta las dimensiones de cada vehículo y la capacidad mostradas en la siguiente tabla [12].

Tabla 4 Dimensiones y capacidades de carga de cada vehículo. Fuente: Agentrascol

Tipo de vehículo	Cap. Carga [t]	Largo [m]	Ancho [m]	Alto [m]
Turbo	4,5	4,5	2,2	2,2
Sencillo	8	6,5	2,4	2,4
Dobletroque	17	8,5	2,4	2,4
Dobletroque (4 manos)	24	8,5	2,4	2,4
Minimula	17	12,5	2,4	2,4
Tractomula	35	12,5	2,4	2,4

$$\left(\frac{\text{Altura del camión}}{\text{Altura del tendido o nivel}} \right) - \text{altura del pallet} \quad (4)$$

$$\frac{\text{Resistencia de un pallet}}{\text{Peso de un nivel}} \quad (5)$$

$$\text{Peso del pallet} \times \text{N}^\circ \text{ de unidades de cargas en el camión} \quad (6)$$

$$\text{Cap. carga} = \left(\frac{\text{Peso total de un nivel} \times \text{N}^\circ \text{ de niveles totales en el camión}}{\text{N}^\circ \text{ de unidades de carga del camión}} \right) + \text{Peso total de los pallets} \quad (7)$$

A continuación se implementó un modelo de localización con capacidad considerando 3 vehículos tipo turbo que transporta la mercancía en unidades de carga con la capacidad anteriormente calculada asumiendo 4 tipos de clientes minoristas (menor, pequeño, mediano y grande) eligiendo aleatoriamente de los 16 clientes minoristas, luego se calcula el número de unidades que se demandan para cada tipo de cliente, la capacidad q_i teniendo en cuenta el número de clientes minorista, la demanda de cada cliente y considerando los costos fijos por cada unidad de capacidad de cada sitio potencial.

Tabla 5 Datos de número y capacidad de vehículos. Fuente: Autores

Notación	Descripción	Valor
u	Número de vehículos	3
Q	Capacidad de los vehículos [unidades de producto]	31104

$$d_{\text{menor}} = \frac{0,1uQ}{4}, \quad d_{\text{pequeño}} = \frac{0,15uQ}{4}, \quad d_{\text{mediano}} = \frac{0,2uQ}{4}, \quad d_{\text{grande}} = \frac{0,3uQ}{4} \quad (8)$$

Cada sitio potencial i en Barranquilla para localizar las bodegas tiene la capacidad suficiente para suplir hasta un 20% adicional la demanda de los clientes minoristas, siendo así que se calculó la capacidad q_i de cada sitio potencial i .

$$q_i = 1,2 \sum_{j=i}^m d_j, \quad \text{Índice } i = \{1,2,3,4,5\} \quad (9)$$

$$\text{Costo fijo}(f_i) = q_i \times \text{costo fijo de capacidad de cada bodega} \quad (10)$$

Se asume que el costo variable de la operación está compuesto por el costo de almacenamiento y el costo de transporte. El costo promedio de mantener una unidad de producto almacenada es de \$900 y el costo de transportar una unidad equivale a \$50 por cada minuto que dure el transporte. A partir de la información anteriormente recolectada se considera el modelo matemático siguiente a través del software ILOG CPLEX [13],

Tabla 6 Parámetros y variables de decisión del modelo de localización con capacidad. Fuente: S. Chopra and M. Peter

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

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

Sujeto a,

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

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

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

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

Esto, con el fin de identificar que bodega debe ser abierta para suplir a los 16 clientes minoristas y el costo total.

Para la identificación de la ruta óptima de los vehículos se tiene en cuenta los clientes, la demanda, la bodega seleccionada, 3 vehículos tipo turbo, capacidad del vehículo y se realiza una matriz con el tiempo de transporte asumiendo que es simétrica. Se aplica un modelo de enrutamiento de vehículos con flota capacitada homogénea [14] usando ILOG CPLEX, en el cual se identificará el tiempo mínimo de viaje y la ruta óptima para suplir la demanda de los clientes.

Tabla 7 Parámetros y variables de decisión del modelo de ruteo de vehículos con capacidad. Fuente: C. Miller, R. Zemlin, and A. Tucker

Conjuntos	
V	Conjunto de clientes, $V' = \{2, \dots, n\}$
V'	Conjunto de todos los nodos, $V' = \{1, \dots, n\}$
A	Conjunto de arcos, $A = \{(i, j) i, j \in V', i \neq j\}$
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 $i \in V'$

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

Sujeto a,

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

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

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

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

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

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

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

Resultados y Discusión

Pesos y dimensiones del producto (Yogur)

Se realizó el cálculo del peso y las dimensiones del producto seleccionado, de la caja de embalaje y del nivel o tendido sobre un pallet. A continuación, en la siguiente tabla se enuncian las especificaciones,

Tabla 8 Peso y dimensiones del producto Yogur. Fuente: Autores

Producto: Yogur	
Pesos	
Peso envase	8 gr
Peso etiqueta	4 gr
Peso contenido	115 gr
Peso total	127 gr
Dimensiones	
Largo	6,5 cm
Ancho	6,5 cm
Alto	6 cm

Aplicación de (1) para la obtención del siguiente cálculo, $8 + 4 + 115 = 127$ *gramos*. Y a partir de la determinación del pallet, se consultó las dimensiones, peso y la resistencia, completando la siguiente tabla a continuación expuesta,

Tabla 9 Dimensiones, peso y resistencia del euro pallet. Fuente: Autores

Resistencia	150000gr
Peso	27000 gr
Dimensiones del pallet	
Largo	120 cm
Ancho	80 cm
Alto	14,4 cm

Finalmente, se definió una caja para el embalaje del producto y se realizaron los cálculos correspondientes, seguidamente detallados y adjuntados posteriormente en la tabla.

Tabla 10 Dimensiones de caja de embalaje y nivel o tendido. Fuente: Autores

Producto: Yogur	
Dimensiones de la caja de embalaje	
Largo	40 cm
Ancho	20 cm
Alto	14 cm
Peso	4822 gr
Información del nivel o tendido	

Largo	120 cm
Ancho	80 cm
Alto	14 cm
Peso	57864 gr

Aplicación de (2) para la obtención del siguiente cálculo, $(127 \text{ gr} \times (3 \times 12)) + 250 \text{ gr} = 4822 \text{ gr}$, después con (3), $4822 \text{ gr} \times 12 = 57864 \text{ gr}$. Por cada nivel o tendido se encontrarán 12 cajas, ubicadas de la siguiente forma,

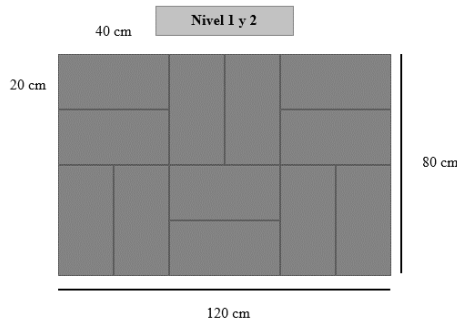


Fig. 1 Ubicación de 12 cajas por los niveles o tendidos 1 y 2. Fuente: Autores

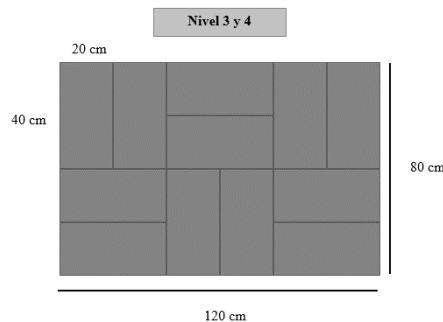


Fig. 2 Ubicación de 12 cajas por los niveles o tendidos 3 y 4. Fuente: Autores

Unidad de carga y capacidad de vehículos

Para el caso de unidad de carga, el largo y ancho se tomaron las dimensiones del pallet indicada anteriormente, siendo estas 120 cm y 80 cm respectivamente, estos valores son iguales para todos los vehículos. Seguidamente, se realizaron los cálculos del alto y peso. Por último, el hallazgo del número de unidades de carga y de productos a cada vehículo.

Tabla 11 Datos relevantes para el cálculo de unidad de carga y capacidad con relación a cada vehículo. Fuente: Autores

PALLETS		TENDIDO
Largo → 120 cm → 1,2m	Resistencia → 1500 kg → 1500000 gr	Alto: 14 cm → 0,14 m
Ancho → 80 cm → 0,8m	Peso → 27000 gr → 27 kg	Peso: 57864 gr → 57,864 kg
Alto → 14,4 cm → 0,144m		

▪ TURBO

Paso 1: Aplicación de (4) para la obtención del siguiente cálculo,

$$\frac{2,2 \text{ m}}{0,14 \text{ m}} = 15,7 \approx 15 \text{ niveles}$$

$$\text{Niveles por altura} - \text{altura de pallet} = 15 \text{ niveles} - 0,144 \text{ m} = 14,8 \approx 14 \text{ niveles.}$$

Por altura, entrarían 14 niveles al camión.

Paso 2: Aplicación de (5), además este paso es aplicable en todos los tipos de vehículos.

$$\frac{1500 \text{ kg}}{57,864 \text{ kg}} = 25,92 \text{ niveles} \approx 25 \text{ niveles.}$$

Los niveles calculados en el paso 1 no sobrepasan los 25 niveles máximos del pallet.

Paso 3: Calcular cuantas unidades de carga entran por las dimensiones, ancho y largo, del camión.

$$\text{Ancho pallet: } 0,8 \text{ m} \times 2 = 1,6 \text{ m} \leq 2,2 \text{ m,} \quad \text{entran 2 de ancho.}$$

$$\text{Largo pallet: } 1,2 \text{ m} \times 3 = 3,6 \text{ m} \leq 4,5 \text{ m,} \quad \text{entran 3 de largo.}$$

$$2 \text{ unidades de carga} \times 3 \text{ unidades de carga} = 6 \text{ unidades de carga}$$

Se realizó por tanteo.

Paso 4: Aplicación de (6) para la obtención del siguiente cálculo, $27 \text{ kg} \times 6 \text{ unidades de carga} = 162 \text{ kg}$

Paso 5: Calcular la capacidad de carga del camión con los niveles por altura para valorar si este resiste en su totalidad. Si sobrepasa la capacidad se resta uno al número total de niveles y reintentar con ese valor.

Aplicación de (7) para la obtención del siguiente cálculo,

$$\text{Por Cap. Carga: } 57,864 \text{ kg} \times 14 = 810,096 \text{ kg} \times 6 = 4860,5 \text{ kg} + 162 \text{ kg} = 5022,5 \text{ kg} \rightarrow 5,02 \text{ toneladas}$$

$$\text{Por Cap. Carga: } 57,864 \text{ kg} \times 13 = 752,232 \text{ kg} \times 6 = 4513,3 \text{ kg} + 162 \text{ kg} = 4675,3 \text{ kg} \rightarrow 4,67 \text{ toneladas}$$

$$\text{Por Cap. Carga: } 57,864 \text{ kg} \times 12 = 694,368 \text{ kg} \times 6 = 4166,2 \text{ kg} + 162 \text{ kg} = 4328,2 \text{ kg}$$

$$\rightarrow 4,32 \text{ toneladas} \leq 4,5 \text{ toneladas}$$

Al realizar el cálculo, se cambia a 12 niveles debido a que sobrepasa el límite de 4,5 toneladas con 14 niveles.

Paso 6: Calcular cuantas unidades totales de yogur entran en el camión.

$$12 \text{ niveles por cap. Carga}$$

$$12 \text{ cajas} \times 36 \text{ unidades} = 432 \text{ unidades por nivel}$$

$$432 \text{ unidades por nivel} \times 12 \text{ niveles} = 5184 \rightarrow \text{Yogur por unidad de carga}$$

$$5184 \text{ unidades} \times 6 \text{ unidades de cargas} = 31104 \rightarrow \text{Cantidad total de yogur en el turbo}$$

▪ **SENCILLO**

Paso 1: Aplicación de (4) para la obtención del siguiente cálculo,

$$\frac{2,4 \text{ m}}{0,14 \text{ m}} = 17,1 \text{ niveles} \approx 17 \text{ niveles}$$

$$\text{Niveles por altura} - \text{altura de pallet} = 17 \text{ niveles} - 0,144 \text{ m} = 16,9 \approx 16 \text{ niveles.}$$

Por altura, entrarían 16 niveles al camión.

Paso 3: Calcular cuantas unidades de carga entran por las dimensiones, ancho y largo, del camión.

$$\text{Ancho pallets: } 0,8 \text{ m} \times 3 = 2,4 \leq 2,4 \text{ m,} \quad \text{entran 3 de ancho.}$$

$$\text{Largo pallets: } 1,2 \text{ m} \times 5 = 6 \leq 6,5 \text{ m,} \quad \text{entran 5 de largo.}$$

$$3 \text{ unidades de carga} \times 5 \text{ unidades de carga} = 15 \text{ unidad de carga}$$

Se realizó por tanteo.

Paso 4: Aplicación de (6) para la obtención del siguiente cálculo,

$$27 \text{ kg} \times 15 \text{ unidades de carga} = 405 \text{ kg}$$

Paso 5: Aplicación de (7) para la obtención del siguiente cálculo,

$$\text{Por Cap. Carga: } 57,864 \text{ kg} \times 16 = 925,824 \text{ kg} \times 15 = 13887,3 \text{ kg} + 405 \text{ kg} = 14292,3 \text{ kg} \rightarrow 14,2 \text{ toneladas}$$

$$\text{Por Cap. Carga: } 57,864 \text{ kg} \times 9 = 520,776 \text{ kg} \times 15 = 7811,6 \text{ kg} + 405 \text{ kg} = 8216,6 \text{ kg} \rightarrow 8,2 \text{ toneladas}$$

$$\text{Por Cap. Carga: } 57,864 \text{ kg} \times 8 = 462,912 \text{ kg} \times 15 = 6943,6 \text{ kg} + 405 \text{ kg} = 7348,6 \text{ kg}$$

$$\rightarrow 7,34 \text{ toneladas} \leq 8 \text{ toneladas}$$

Al realizar el cálculo, se cambia a 8 niveles debido a que sobrepasa el límite de 8 toneladas con 16 niveles.

Paso 6: Calcular cuantas unidades totales de yogur entran en el camión.

$$8 \text{ niveles por cap. Carga}$$

$$432 \text{ unidades por nivel} \times 8 \text{ niveles} = 3456 \rightarrow \text{Yogur por unidad de carga}$$

$$3456 \text{ unidades de yogur} \times 15 \text{ unidades de carga} = 51840 \rightarrow \text{Cantidad total de yogur en el sencillo}$$

▪ **DOBLETROQUE**

Paso 1 y Paso 2: Sería el mismo procedimiento que el anterior.

Paso 3: Calcular cuantas unidades de carga entran por las dimensiones, ancho y largo, del camión.

$$\text{Ancho pallets: } 0,8 \text{ m} \times 3 = 2,4 \leq 2,4 \text{ m}, \quad \text{entran 3 de ancho.}$$

$$\text{Largo pallets: } 1,2 \text{ m} \times 7 = 8,4 \leq 8,5 \text{ m}, \quad \text{entran 7 de largo.}$$

$$3 \text{ unidades de carga} \times 7 \text{ unidades de carga} = 21 \text{ unidad de carga}$$

Se realizó por tanteo.

Paso 4: Aplicación de (6) para la obtención del siguiente cálculo,

$$27 \text{ kg} \times 21 \text{ unidades de carga} = 567 \text{ kg}$$

Paso 5: Aplicación de (7) para la obtención del siguiente cálculo,

$$\text{Por Cap. Carga: } 57,864 \text{ kg} \times 16 = 925,824 \text{ kg} \times 21 = 19442,3 \text{ kg} + 567 \text{ kg} = 20009,3 \text{ kg} \rightarrow 20 \text{ toneladas}$$

$$\text{Por Cap. Carga: } 57,864 \text{ kg} \times 14 = 810,096 \text{ kg} \times 21 = 17012,0 \text{ kg} + 567 \text{ kg} = 17579,0 \text{ kg} \rightarrow 17,5 \text{ toneladas}$$

$$\text{Por Cap. Carga: } 57,864 \text{ kg} \times 13 = 752,232 \text{ kg} \times 21 = 15796,8 \text{ kg} + 567 \text{ kg} = 16363,8 \text{ kg}$$

$$\rightarrow 16,36 \text{ toneladas} \leq 17 \text{ toneladas}$$

Al realizar el cálculo, se cambia a 13 niveles debido a que sobrepasa el límite de 17 toneladas con 16 niveles.

Paso 6: Calcular cuantas unidades totales de yogur entran en el camión.

$$13 \text{ niveles por cap. Carga}$$

$$432 \text{ unidades} \times 13 \text{ niveles} = \mathbf{5616} \rightarrow \text{Yogur por unidad de carga}$$

$$5616 \text{ unidades de yogur} \times 21 \text{ unidades de carga} = \mathbf{117936} \rightarrow \text{Cantidad total de yogur en el dobletroque}$$

▪ **DOBLETROQUE (4 MANOS)**

Paso 1, 2, 3 y 4: Serían los mismos que los procedimientos anteriores.

Paso 5: Aplicación de (7) para la obtención del siguiente cálculo,

$$\text{Por Cap. Carga: } 57,864 \text{ kg} \times \mathbf{16} = 925,824 \text{ kg} \times 21 = 19442,3 \text{ kg} + 567 \text{ kg} = 20009,3 \text{ kg}$$

$$\rightarrow \mathbf{20,0 \text{ toneladas} \leq 24 \text{ toneladas}}$$

Paso 6: Calcular cuantas unidades totales de yogur entran en el camión.

$$16 \text{ niveles por cap. Carga}$$

$$432 \text{ unidades por nivel} \times 16 \text{ niveles} = \mathbf{6912} \rightarrow \text{Yogur por unidad de carga}$$

$$6912 \text{ unidades de yogur} \times 21 \text{ unidades de carga} = \mathbf{145152}$$

$$\rightarrow \text{Cantidad total de yogur en el dobletroque (4 manos)}$$

▪ **MINIMULA**

Paso 1 y Paso 2: Sería el mismo procedimiento que el anterior.

Paso 3: Calcular cuantas unidades de carga entran por las dimensiones, ancho y largo, del camión.

$$\text{Ancho pallets: } 0,8 \text{ m} \times 3 = 2,4 \leq 2,4 \text{ m}, \quad \text{entran } \mathbf{3 \text{ de ancho.}}$$

$$\text{Largo pallets: } 1,2 \text{ m} \times 10 = 12 \leq 12,5 \text{ m}, \quad \text{entran } \mathbf{10 \text{ de largo.}}$$

$$3 \text{ unidades de carga} \times 10 \text{ unidades de carga} = 30 \text{ unidad de carga}$$

Se realizó por tanteo.

Paso 4: Aplicación de (6) para la obtención del siguiente cálculo,

$$27 \text{ kg} \times 30 \text{ unidades de carga} = 810 \text{ kg}$$

Paso 5: Aplicación de (7) para la obtención del siguiente cálculo,

$$\text{Por Cap. Carga: } 57,864 \text{ kg} \times \mathbf{16} = 925,824 \text{ kg} \times 30 = 27774,7 \text{ kg} + 810 \text{ kg} = 28584,72 \text{ kg} \rightarrow 28,5 \text{ toneladas}$$

$$\text{Por Cap. Carga: } 57,864 \text{ kg} \times \mathbf{10} = 578,64 \text{ kg} \times 30 = 17359,2 \text{ kg} + 810 \text{ kg} = 18169,2 \text{ kg} \rightarrow 18,1 \text{ toneladas}$$

$$\text{Por Cap. Carga: } 57,864 \text{ kg} \times \mathbf{9} = 520,776 \text{ kg} \times 30 = 15623,2 \text{ kg} + 810 \text{ kg} = 16433,2 \text{ kg}$$

$$\rightarrow \mathbf{16,43 \text{ toneladas} \leq 17 \text{ toneladas}}$$

Al realizar el cálculo, se cambia a 9 niveles debido a que sobrepasa el límite de 17 toneladas con 16 niveles.

Paso 6: Calcular cuantas unidades totales de yogur entran en el camión.

$$9 \text{ niveles por cap. Carga}$$

$$432 \times 9 \text{ niveles} = \mathbf{3888} \rightarrow \text{Yogur por unidad de carga}$$

$$3888 \text{ unidades de yogur} \times 30 \text{ unidades de carga} = \mathbf{116640} \rightarrow \text{Cantidad total de yogur en la minimula}$$

▪ **TRACTOMULA**

Paso 1, 2, 3 y 4: Serían los mismos que los procedimientos anteriores.

Paso 5: Aplicación de (7) para la obtención del siguiente cálculo,

$$\text{Por Cap. Carga: } 57,864 \text{ kg} \times 17 = 983,688 \text{ kg} \times 30 = 29510,6 \text{ kg} + 810 \text{ kg} = 30320,6 \text{ kg} \rightarrow 30,3 \text{ toneladas}$$

$$\text{Por Cap. Carga: } 57,864 \text{ kg} \times 16 = 925,824 \text{ kg} \times 30 = 27774,7 \text{ kg} + 810 \text{ kg} = 28584,7 \text{ kg}$$

$$\rightarrow 28,5 \text{ toneladas} \leq 35 \text{ toneladas}$$

Paso 6: Calcular cuantas unidades totales de yogur entran en el camión.

16 niveles por cap. Carga

$$432 \text{ unidades por nivel} \times 16 \text{ niveles} = 6912 \rightarrow \text{Yogur por unidad de carga}$$

$$6912 \text{ unidades de yogur} \times 30 \text{ unidades de carga} = 207360 \rightarrow \text{Cantidad total de yogur en la tractomula}$$

Tabla 12 Dimensiones y peso de la unidad de carga y la capacidad de diferentes vehículos. Fuente: Autores

Tipo de vehículo	Unidad de carga				Número de unidades de carga	Número de productos
	Largo [cm]	Ancho [cm]	Alto [cm]	Peso [kg]		
Turbo	120	80	182,4	721,368	6	31104
Sencillo	120	80	126,4	489,912	15	51840
Dobletroque	120	80	196,4	779,232	21	117936
Dobletroque (4 manos)	120	80	238,4	952,824	21	145152
Mínimula	120	80	140,4	547,776	30	116640
Tractomula	120	80	238,4	952,824	30	207360

Modelo de localización con capacidad

Tabla 13 Resultados por zonas del número de unidades de producto demandadas por cliente. Fuente: Autores

Zona 1 – Zona 2 – Zona 3 – Zona 4	
$d_{menor} = \frac{0,1(3)(31104)}{4} = 2332,8 \rightarrow 2333 \text{ unidades/día}$	$d_{mediano} = \frac{0,2(3)(31104)}{4} = 4665,6 \rightarrow 4666 \text{ unidades/día}$
$d_{pequeño} = \frac{0,15(3)(31104)}{4} = 3499,2 \rightarrow 3499 \text{ unidades/día}$	$d_{grande} = \frac{0,3(3)(31104)}{4} = 6998,4 \rightarrow 6998 \text{ unidades/día}$

Tabla 14 Clientes minoritas en Barranquilla con el número de unidades demandadas y tipo de cliente. Fuente: Google Maps

Índice	Cliente	Dirección	Zona	Longitud (Coordenada X)	Latitud (Coordenada Y)	Tipo de Cliente	Demanda dj [unidades/día]
1	Carulla	Cl. 82 #50-71, Nte. Centro Histórico	1	-74,82007	11,01132	Menor	2333
2	Fruty Land Gourmet	Calle 90# #44-84, Nte. Centro Histórico	1	-74,83258	11,00683	Pequeño	3499
3	Éxito Barranquilla	Cl. 77 #71-49, Nte. Centro Histórico	1	-74,80932	11,01591	Mediano	4666
4	Goyurt	Cra. 51B, Riomar	1	-74,82067	11,00679	Grande	6998
5	Yogurt Kaserito	Cra. 45 #calle 65, Nte. Centro Histórico	2	-74,79680	10,99201	Menor	2333
6	Éxito San Blas Barranquilla	Cl. 41 #36 - 81, Sur Orient	2	-74,78399	10,97823	Pequeño	3499
7	Frutisabor	Cra. 39 #37-48, Nte. Centro Histórico	2	-74,78128	10,97937	Mediano	4666
8	Goyurt-Prado	Calle 53# 46-192, Nte. Centro Histórico	2	-74,78831	10,99023	Grande	6998
9	Yogurt Artesanal La Siembra	Cl. 63c #13-39, Suroccidente	3	-74,81283	10,96175	Menor	2333
10	Heladería La Merideña	Cl. 53d #17-10 Local 1, Suroccidente	3	-74,80673	10,96353	Pequeño	3499
11	Éxito Murillo Barranquilla	Av. Murillo #26 - 129, Suroccidente	3	-74,79094	10,97027	Mediano	4666
12	Deli Aleli yogurt griego	Cra. 23 #Calle 48, Suroccidente	3	-74,79504	10,96747	Grande	6998

13	Lácteos Yoguring	Cra. 23b #4053, Sur Orient	4	-74,78520	10,96824	Menor	2333
14	Éxito Panorama Barranquilla	Cl. 31 #6B, Sur Orient	4	-74,77903	10,94586	Pequeño	3499
15	Olimpica El Parque	Cl. 45 #42 - 19, Cisneros, Soledad, Atlántico	4	-74,79809	10,93246	Mediano	4666
16	Olimpica La Unión	Cl. 36b # 13c - 44, Carrera 14 #35b-61	4	-74,79247	10,95427	Grande	6998

$$q_i = 1,2 (2333 + 3499 + 4666 + 6998 + 2333 + 3499 + 4666 + 6998 + 2333 + 3499 + 4666 + 6998 + 2333 + 3499 + 4666 + 6998) = 1,2(69984) = 83980,8 \rightarrow 83981 \text{ unid/día}$$

Adicionalmente se aplicó (10) y se consideró los costos fijos por cada unidad de capacidad de cada sitio potencial,

$$1) 83981 \times 1256,7 = \$ 105.538.922,70/\text{día}, \quad 2) 83981 \times 1257,1 = \$ 105.572.515,10/\text{día}$$

$$3) 83981 \times 1269,9 = \$ 106.647.471,90/\text{día}, \quad 4) 83981 \times 1276,7 = \$ 107.218.542,70/\text{día}$$

$$5) 83981 \times 1293,3 = \$ 108.612.627,30/\text{día}$$

Tabla 15 Potenciales bodegas en Barranquilla con capacidad y costos fijos. Fuente: Autores

Índice i	Dirección	Longitud (Coordenada X)	Latitud (Coordenada Y)	Capacidad q_i [unid./día]	Costo fijo de capacidad [\$/unid.]	Costo fijo f_i [\$/día]
1	Cra. 6 Sur #47 – 75	-74,80623	10,92877	83981	\$ 1.256,7	\$ 105.538.922,70
2	Cra. 17 #41 – 107	-74,79532	10,95534	83981	\$ 1.257,1	\$ 105.572.515,10
3	Cra. 35 #53 – 61	-74,79452	10,97877	83981	\$ 1.269,9	\$ 106.647.471,90
4	Cra. 41 # 68 – 2	-74,80321	10,98663	83981	\$ 1.276,7	\$ 107.218.542,70
5	Calle 76 # 44 – 2	-74,81067	10,99564	83981	\$ 1.293,3	\$ 108.612.627,30

Solución CPLEX

Con base en la solución del modelo matemático de localización con capacidad usando CPLEX, se puede decir que la única bodega que debe abrirse es la **bodega 3**, ubicada en Cra. 35 # 53-61 (-74,794521745123, 10,9787687921844) porque lograr suplir la demanda de todos los clientes y las unidades que serán enviadas a cada tipo de cliente son las siguientes:

Bodega 3 a Cliente 1, 5, 9 y 13(menor): 2333 unidades,

Bodega 3 a Cliente 2, 6, 10 y 14(pequeño): 3499 unidades,

Bodega 3 a Cliente 3, 7, 11 y 15(mediano): 4666 unidades,

Bodega 3 a Cliente 4, 8, 12 y 16(grande): 6998 unidades

El costo total de la red propuesta dada por el modelo matemático es **\$211. 973. 271, 9**.

Modelo de ruteo de vehículos con capacidad (CVRP)

En función de la iniciación del modelo de localización con capacidad, y considerando los clientes con las respectivas demandas calculadas y la bodega localizada que en esta práctica sería la bodega 3, se prosigue con la estimación del tiempo de transporte (minutos) entre cada par de nodos usando Google Maps, se asume que la matriz es simétrica.

Tabla 16 Datos del Depósito (Bodega 3) y nodos (2 al 17 - clientes). Fuente: Autores

Índice i	Descripción del Nodo	Longitud (Coordenada X)	Latitud (Coordenada Y)	Demanda d_j [unidades/día]
1	Bodega 3	-74,79452	10,97877	-
2	Carulla	-74,82007	11,01132	2333
3	Fruty Land Gourmet	-74,83258	11,00683	3499
4	Éxito Barranquilla	-74,80932	11,01591	4666

5	Goyurt	-74,82067	11,00679	6998
6	Yogurt Kaserito	-74,79680	10,99201	2333
7	Éxito San Blas Barranquilla	-74,78399	10,97823	3499
8	Frutisabor	-74,78128	10,97937	4666
9	Goyurt-Prado	-74,78831	10,99023	6998
10	Yogurt Artesanal La Siembra	-74,81283	10,96175	2333
11	Heladería La Merideña	-74,80673	10,96353	3499
12	Éxito Murillo Barranquilla	-74,79094	10,97027	4666
13	Deli Aleli yogurt griego	-74,79504	10,96747	6998
14	Lacteos Yoguring	-74,78520	10,96824	2333
15	Éxito Panorama Barranquilla	-74,77903	10,94586	3499
16	Olimpica El Parque	-74,79809	10,93246	4666
17	Olimpica La Unión	-74,79247	10,95427	6998

Tabla 17 Matriz simétrica. Fuente: Autores

Nodo de origen i	Nodo de destino j																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0	13	15	13	21	6	6	5	6	8	5	4	5	6	12	15	10
2	13	0	6	8	11	8	14	14	10	15	17	16	15	17	22	24	20
3	15	6	0	11	3	8	14	13	12	15	17	16	15	17	23	21	21
4	13	8	11	0	8	8	10	11	7	17	16	14	14	13	16	20	14
5	21	11	3	8	0	10	16	16	11	17	19	18	17	19	23	23	22
6	6	8	8	8	10	0	7	7	4	10	10	9	8	10	15	19	14
7	6	14	14	10	16	7	0	2	7	13	10	8	8	7	10	14	8
8	5	14	13	11	16	7	2	0	6	12	9	6	7	6	10	13	8
9	6	10	12	7	11	4	7	6	0	12	10	9	8	9	13	18	12
10	8	15	15	17	17	10	13	12	12	0	3	8	6	7	11	13	6
11	5	17	17	16	19	10	10	9	10	3	0	6	3	5	10	12	5
12	4	16	16	14	18	9	8	6	9	8	6	0	3	4	10	13	7
13	5	15	15	14	17	8	8	7	8	6	3	3	0	3	9	11	6
14	6	17	17	13	19	10	7	6	9	7	5	4	3	0	7	11	5
15	12	22	23	16	23	15	10	10	13	11	10	10	9	7	0	6	4
16	15	24	21	20	23	19	14	13	18	13	12	13	11	11	6	0	7
17	10	20	21	14	22	14	8	8	12	6	5	7	6	5	4	7	0

Solución CPLEX

Con base en la solución del modelo matemático de ruteo de vehículos con capacidad (CVRP) usando CPLEX, se puede decir que el tiempo mínimo de viaje de la flota de vehículos sería 104 minutos y las rutas óptimas de la flota de vehículos para satisfacer la demanda de los clientes, son las siguientes, 1 → 6 → 2 → 3 → 5 → 4 → 9 → 1, 1 → 11 → 10 → 17 → 16 → 15 → 14 → 13 → 1 y 1 → 12 → 8 → 7.

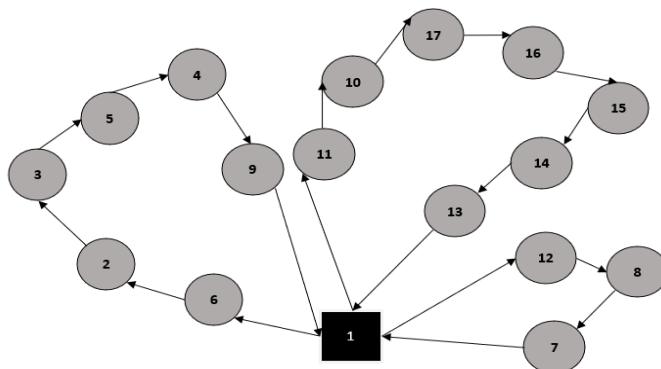


Fig. 3 Rutas óptimas de la flota de vehículos. Fuente: Autores

Conclusiones

Se logró identificar y analizar la cadena de abastecimiento del yogur, seleccionando los diferentes eslabones logísticos que hacen parte. De igual manera, se relacionaron los diferentes procesos logísticos con los eslabones, determinando la forma en la que actúan y el papel que cumple cada uno de estos para un correcto y eficiente funcionamiento. Es de gran importancia que se establezca la cadena de abastecimiento para poder tener definidos todos los factores y actores que intervienen desde el punto de origen hasta el final, alcanzando con ello un correcto manejo, control y seguimiento del producto. Combinado el resultado de los modelos del primero localizando la bodega óptima, es decir, la tercera y del segundo la ruta óptima, se obtiene una estrategia que permite tomar decisiones informadas y basadas en datos para maximizar la eficiencia. Se identifica las capacidades actuales, optimizan los recursos y minimiza los costos de transporte. Lo que puede contribuir a trabajos a futuro, el que seleccionar una ruta o cadena de abastecimiento óptima es indispensable para prevenir y no generar pérdidas o deficiencias que originen gastos dentro de las organizaciones. Implementando modelos matemáticos, que logren optimizar las rutas o mejorar la logística para así ser mucho más eficientes en sus procesos, obteniendo los mejores resultados, logrando la satisfacción de los clientes.

Referencias

- [1] ODE, «Medellín Digital - Observatorio de Desarrollo Económico,» 2021. [En línea]. Available: <https://ode.medellindigital.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/22.-Elaboracio%CC%8In-de-productos-la%CC%81cteos.pdf>. [Último acceso: 2023].
- [2] N. Babio, G. Mena-Sánchez y J. Salas-Salvadó, «Más allá del valor nutricional del yogur: ¿un indicador de la calidad de la dieta?,» *Nutrición Hospitalaria*, vol. 34, pp. 26-30, 2017.
- [3] A. Pupo Pérez, M. Pérez Campaña, A. Ortiz Pérez y A. Torres Gómez de Cádiz Hernández, «Sustainable supply chain management as a contribution to economic and social development,» *Universidad y Sociedad*, vol. 14, n° 5, pp. 427- 440, 2022.
- [4] J. J. Anaya Tejero y M. Sonia Polanco, *Innovación y mejora de procesos logísticos: Análisis, diagnóstico e implantación de sistemas logísticos*, Esic Editorial, 2007.
- [5] C. A. Moreno-Camacho, J. R. Montoya-Torres y A. Jaegler, «Sustainable supply chain network design: a study of the Colombian dairy sector,» *Annals of Operations Research*, vol. 324, n° 1-2, p. 573–599, Mayo 2023.
- [6] J. S. Salcedo Gil, «Biblioteca Digital Univalle - Universidad del Valle,» 2018. [En línea]. Available: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/16410/CB-0598391.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 2023].
- [7] S. A. Pino Giraldo y L. M. Duque Rengifo, «Biblioteca Digital USB - Universidad de San Buenaventura,» 2017. [En línea]. Available: <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/1e53d1f4-a4b6-40a9-ad15-a98fd07d0372/content>. [Último acceso: 2023].
- [8] C. A. Calderón González y J. Tolosa Ospina, «Repositorio Institucional UDistrital,» 2016. [En línea]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5143/Calder%c3%b3nGonz%c3%a1lezCamiloAdolfo2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 2023].
- [9] J. L. Ruiz Meza, «Repositorio UTB,» 2018. [En línea]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12585/3536>. [Último acceso: 2023].

- [10] J. B. R. Zarta, «Researchgate,» 2020. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Serna-M/publication/344418690_Desarrollo_e_innovacion_en_Ingenieria_5/links/5f739925a6fdcc0086482363/Desarrollo-e-innovacion-en-Ingenieria-5.pdf#page=384. [Último acceso: 2023].
- [11] iContainers, «iContainers,» 26 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.icontainers.com/es/ayuda/euro-pallet-epal-tamano-especificaciones/>. [Último acceso: Abril 2023].
- [12] Agentrascol, «Agentrascol,» [En línea]. Available: http://agentranscol.com/images/agentranscol_herramientas_tipos_de_camiones.jpg.
- [13] S. Chopra y P. Meindi, *Administración de la cadena de suministro*, Pearson educación, 2008.
- [14] C. E. Miller, R. A. Zemlin y A. W. Tucker, «Integer Programming Formulation of Traveling Salesman Problems,» *Journal of the ACM*, vol. 7, n° 4, pp. 326-329, Octubre 1960.