

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Rediseño de la red de distribución de una empresa comercializadora de insumos
de construcción

INGE-2817

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Industrial

Presentado por:

Luis Daniel Alvarado López

Nahín Rudy Mota Ronquillo

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

A mi mamá, papá y hermanas, los pilares que me han apoyado durante toda mi vida académica. Por estar presentes de muchas formas en mis logros, desafíos y aprendizajes, y por ser fuente de inspiración constante para seguir adelante y cumplir esta meta.

Luis Alvarado López

A Dios, por darme la vida, el intelecto, la fortaleza y la sabiduría para alcanzar esta meta. A mi madre, por tu amor incondicional, tus sacrificios y por estar siempre conmigo en los momentos más difíciles, este logro también es tuyo. A mis hermanas y hermano, por su apoyo y palabras de aliento que me motivaron a seguir adelante. A mi novia, por acompañarme en los momentos más críticos, brindarme consejos y ánimo cuando más lo necesitaba.

Nahín Mota Ronquillo

Agradecimientos

El más sincero agradecimiento a nuestros profesores y profesoras por compartir con nosotros su experiencia profesional y humana, por mostrarnos su pasión por el conocimiento y la buena práctica de este. Especialmente, a la MSc. Ma. Laura Retamales y la MSc. Sofía López, por guiarnos en la culminación exitosa de esta etapa académica.

Los autores

Declaración Expresa

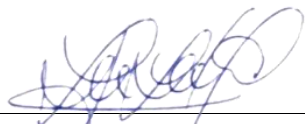
Nosotros Luis Daniel Alvarado López y Nahín Rudy Mota Ronquillo acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

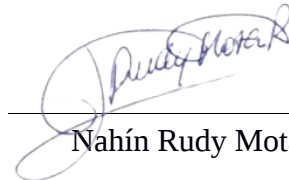
La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 28 de mayo de 2025.



Luis Daniel Alvarado
López



Nahín Rudy Mota
Ronquillo

Evaluadores

María Laura Retamales García, M.Sc.

Profesor de Materia

Sofía Anabel López Iglesias, M.Sc.

Tutor de proyecto

Resumen

El presente proyecto tiene como propósito rediseñar la red de distribución de una empresa de insumos de construcción, con el fin de mejorar su eficiencia operativa y garantizar un servicio confiable. Sus objetivos se centran en limitar la red a un máximo de tres centros de distribución para reducir costos fijos y garantizar que al menos el 80% de los pedidos lleguen en menos de ocho horas. La hipótesis sostiene que una configuración optimizada de la red permite disminuir tiempos de entrega sin comprometer la calidad del servicio, lo cual se justifica en la necesidad de responder a un mercado dinámico y altamente competitivo. Para su desarrollo, se aplicó una metodología basada en técnicas de optimización y simulación. Asimismo, se recopilaron datos de costos de transporte, costos fijos, y tiempos de tránsito, que fueron modelados y analizados mediante escenarios alternativos, donde resultados evidenciaron que abrir dos centros de distribución, uno en Quevedo y otro en Machala, reducía el tiempo promedio por kilogramo de 11.7 a 7 horas, y que la mejor configuración de la red logró que todas las entregas se realizaran en menos de 8 horas. Así, el modelo propuesto optimizó simultáneamente costos, flexibilidad y confiabilidad, constituyendo una herramienta estratégica para la toma de decisiones logísticas de la empresa.

Palabras clave: distribución, optimización, logística, simulación.

Abstract

The purpose of this project is to redesign the distribution network of a construction supplies company to improve its operational efficiency and ensure reliable service. Its objectives are to limit the network to a maximum of three distribution centers to reduce fixed costs and ensure that at least 80% of orders arrive in less than eight hours. The hypothesis is that an optimized network configuration allows for reduced delivery times without compromising service quality, which is justified by the need to respond to a dynamic and highly competitive market. For its development, a methodology based on optimization and simulation techniques was applied. Data on transportation costs, fixed costs, and transit times were also collected, modeled, and analyzed using alternative scenarios. Results showed that opening two distribution centers, one in Quevedo and one in Machala, reduced the average delivery time per kilogram from 11.7 to 7 hours, and that the improved network configuration resulted in all deliveries being made in less than 8 hours. Thus, the proposed model simultaneously optimized costs, flexibility, and reliability, constituting a strategic tool for the company's logistics decision-making.

Keywords: distribution, optimization, logistics, simulation.

Índice general

Resumen.....	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	V
Simbología.....	VI
Índice de figuras.....	VII
Índice de tablas	VIII
Capítulo 1.....	1
1. Introducción.....	2
1.1 <i>Descripción del problema</i>	3
1.2 <i>Justificación del Problema</i>	5
1.3 <i>Objetivos</i>	5
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	5
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.4 <i>Marco teórico</i>	6
1.4.1 <i>Logística y cadena de suministro</i>	6
1.4.2 <i>Diseño de red y modelos de optimización</i>	6
1.4.3 <i>Sistemas de Información Geográfica</i>	8
1.4.4 <i>Gestión de incertidumbre</i>	8
1.4.5 <i>Centros de distribución, Cross-docking y sostenibilidad</i>	9
Capítulo 2.....	12
2. Metodología.....	13
2.1 <i>Análisis de la voz del cliente (VOC)</i>	13
2.2 <i>Mapeo del proceso actual (SIPOC)</i>	15
2.3 <i>Despliegue de la función de calidad (QFD)</i>	16

2.4	<i>Plan de recolección de datos</i>	17
2.5	<i>Análisis de la demanda: ABC y Pareto</i>	19
2.6	<i>Agrupamiento exploratorio</i>	21
2.7	<i>Análisis de costos</i>	22
2.8	<i>Modelo de optimización</i>	26
Capítulo 3		31
3.	Resultados y Análisis.....	32
3.1	<i>Costos de instalación</i>	41
3.2	<i>Dirección de los centros de distribución</i>	44
Capítulo 4		48
4.	Conclusiones y recomendaciones	49
3.3	<i>Conclusiones</i>	49
3.4	<i>Recomendaciones</i>	50
Referencias		47
Apéndices		47
Apéndice A: Resultados obtenidos del modelo en GAMS		48
Apéndice B: Comprobación de cumplimiento de tiempos de entrega con clientes mapeados		49

Abreviaturas

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
DRO	Optimización Robusta Distribuida
ILP	Programación Lineal Entera
JIT	Justo a Tiempo
MDVRP	Problemas de Enrutamiento de Vehículos con Múltiples Depósitos
MIP	Programación Entera Mixta
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SOCP	Programación de Conos de Segundo Orden
VOC	Voz del Cliente

Simbología

kg	Kilogramo
h	Hora
min	Minuto
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico

Índice de figuras

Figura 1 <i>Mapa de empatía del cliente</i>	14
Figura 2 <i>Resumen de la Voz del Cliente (VOC)</i>	14
Figura 3 <i>Diagrama SIPOC del proceso de distribución</i>	15
Figura 4 <i>QFD de las necesidades del cliente traducidas a requerimientos técnicos con su correlación</i>	16
. Figura 5 <i>Pareto de demanda por ciudad</i>	21
Figura 6 <i>Ubicaciones resultantes del agrupamiento usando el método de K-medias</i>	22
Figura 7 <i>Algoritmo en Google Colab de generación de métricas de distancia y tiempo</i>	33
Figura 8 <i>Mapa interactivo de los nodos de la red propuesta</i>	34
Figura 9 <i>Mapa de clientes abastecidos desde CD nuevo en Quevedo</i>	34
Figura 10 <i>Mapa de clientes abastecidos por bodega en Portoviejo</i>	36
Figura 11 <i>Extracto de resultados de cumplimiento de nivel de servicio en transporte secundario (<8h)</i>	40
Figura 12 <i>Resultados de cumplimiento de nivel de servicio en transporte primario (<12h)</i> ..	41
Figura 13 <i>Contratos de referencia para estimación de costo de construcción por m²</i>	42
Figura 14 <i>Ubicación propuesta (terreno) para CD en Machala</i>	45
Figura 15 <i>Ubicación propuesta (terreno) para CD en Quevedo</i>	46
Figura 16 <i>Vías de acceso para las ubicaciones propuestas de los centros de distribución</i>	47

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Plan de recolección de datos</i>	18
Tabla 2 <i>Clasificación ABC de demanda en kilogramos de ciudades de la red</i>	20
Tabla 3 <i>Costos de mantenimiento mensual por ciudad potencial</i>	22
Tabla 4 <i>Costos de transporte directo desde el CD existente a las ciudades de demanda</i>	23
Tabla 5 <i>Costo de transporte desde ciudades candidatas para CDs a ciudades de demanda</i> .	24
Tabla 6 <i>Rubros usados para estimación de costos de manipulación</i>	24
Tabla 7 <i>Costo de manipulación tomando en cuenta kg procesados y gastos incurridos en procesamiento</i>	25
Tabla 8 <i>Comparación de modelos para la propuesta</i>	26
Tabla 9 <i>Conjuntos usados en el modelo de optimización</i>	27
Tabla 10 <i>Parámetros del modelo</i>	28
Tabla 11 <i>Variables de decisión del modelo</i>	28
Tabla 12 <i>Ajuste de precio por m² en ciudades escogidas</i>	44

Capítulo 1

1. Introducción

La logística de distribución representa uno de los pilares fundamentales en la cadena de suministro de cualquier organización. Su eficiencia impacta directamente en los costos operativos, los tiempos de entrega y, en última instancia, en la satisfacción del cliente. En un entorno cada vez más competitivo, caracterizado por exigencias de entregas más rápidas, restricciones de acceso urbano, y costos de transporte en aumento, las empresas deben repensar sus redes de distribución para adaptarse a nuevas condiciones del mercado.

La optimización de redes de distribución ha sido ampliamente estudiada en la literatura científica y aplicada con éxito en diversas industrias, utilizando herramientas como modelos de localización, análisis geoespacial y técnicas de agrupamiento. Sin embargo, su implementación práctica exige una adaptación a las condiciones reales de cada empresa, considerando restricciones como la capacidad de los vehículos, el número de pedidos diarios, la dispersión geográfica de los clientes y la infraestructura existente.

En las actuales circunstancias, el presente proyecto se enfoca en el rediseño de la red de distribución de una empresa dedicada a la comercialización de insumos de construcción, con presencia en distintas regiones del Ecuador. La actual red logística presenta limitaciones operativas que afectan el cumplimiento de los plazos de entrega, generan sobrecostos en transporte y dificultan la expansión eficiente del servicio.

El objetivo de este trabajo es aportar una solución técnica y aplicable que permita tomar decisiones estratégicas sobre la localización óptima de nuevos centros de distribución, con base en datos operativos, financieros y geográficos. Se aplicarán modelos de optimización combinados con análisis espacial para identificar configuraciones que minimicen los costos logísticos y mejoren la cobertura de entrega en tiempo.

1.1 Descripción del problema

Actualmente, una organización reconocida en el sector de insumos de construcción enfrenta desafíos significativos en su sistema de distribución. El crecimiento de su cartera de clientes, la dispersión geográfica de la demanda y las limitaciones de su infraestructura logística centralizada han generado cuellos de botella en la operación.

La empresa objeto de estudio presenta una operación logística caracterizada por una amplia variedad de productos, con un total de 28.959 códigos registrados y 6.276 SKU únicos distribuidos entre enero y mayo de 2025. Internamente, la clasificación de los artículos se divide en dos perspectivas: por ventas (industria, ferretería, eléctrico e hidráulico) y por logística, diferenciando entre un sistema de almacenamiento caótico de alta densidad para productos pequeños y de alta rotación, y un grupo de productos volumétricos irregulares o paletizados, como tubos, tanques, bobinas y rollos de cables. Sus principales proveedores son tanto locales como internacionales, y en cuanto a la demanda, el 70% de los clientes son ferreterías, mientras que el 30% restante corresponde a constructoras, maestros y empresas de mantenimiento. El nivel de servicio actual refleja que únicamente el 30% de las órdenes de ferreterías se entregan en menos de 24 horas, pese a que se procesan en promedio 12 pedidos por hora, con 7 ítems y un valor de 120 USD por orden. La distribución presenta retos relevantes debido a restricciones municipales para la circulación de vehículos de más de 3 toneladas, que varían según horarios, zonas y cantones, lo que obliga a una cuidadosa planificación de rutas. De la misma manera, los tiempos de recorrido son variables, entre 6 y 16 horas, cuando el promedio esperado es de 12 horas para transporte primario y 8 horas para transporte secundario; sin embargo, la operación suele extenderse hasta la noche, generando costos adicionales por horas extra e incluso la necesidad de programar entregas los sábados para cubrir pedidos atrasados.

Así, entre los principales problemas identificados se encuentran: el bajo cumplimiento de las entregas dentro del plazo de 8 horas, el incremento sostenido en los costos logísticos, alcanzando más del 3% del valor de ventas; y la dependencia de vehículos de gran tamaño que dificultan la distribución en zonas urbanas con restricciones de acceso.

La empresa opera con un centro de distribución principal ubicado en la ciudad de Guayaquil, desde el cual atiende a una red de más de 1.200 clientes distribuidos en diferentes provincias del país. Adicionalmente, cuenta con una bodega en la ciudad de Portoviejo que cumple una función de apoyo logístico en la zona centro-norte de la región Costa, especialmente en la provincia de Manabí. Sin embargo, la planificación de rutas se realiza sin una optimización basada en criterios de proximidad geográfica o demanda agrupada, lo que genera recorridos ineficientes, mayores tiempos de entrega y un uso intensivo de recursos operativos. Esta situación se ve agravada por la dependencia exclusiva de flota propia, lo cual reduce la flexibilidad operativa ante picos de demanda o eventos imprevistos. La estructura actual, si bien funcional, presenta oportunidades claras de mejora mediante la incorporación de herramientas de optimización, modelos de localización estratégica y el uso de servicios logísticos complementarios que permitan mejorar el nivel de servicio y reducir costos operacionales.

El problema expuesto afecta directamente la competitividad de la empresa y su capacidad de respuesta al cliente. Además, es observable, medible y susceptible de análisis cuantitativo mediante herramientas de ingeniería industrial como análisis de costos, redes logísticas y modelos matemáticos de optimización. Por lo tanto, el proyecto busca responder a la necesidad de rediseñar la red de distribución mediante la identificación de ubicaciones óptimas para nuevos centros de distribución, teniendo en cuenta restricciones de capacidad, tiempos de entrega, costos y condiciones operativas reales.

1.2 Justificación del Problema

Abordar este problema es esencial para mejorar la eficiencia logística de la empresa, reducir los costos de transporte y garantizar un servicio de entrega más rápido y confiable. En el contexto actual, donde los márgenes comerciales son cada vez más ajustados, optimizar la red de distribución no solo representa una ventaja competitiva, sino también una necesidad estratégica.

Proponer un rediseño es relevante ya que así la empresa podrá tomar decisiones fundamentadas para ampliar su red logística mediante centros de distribución adicionales, utilizando criterios técnicos y financieros. Asimismo, proporcionará herramientas analíticas replicables que podrán aplicarse en futuras expansiones o ajustes de la red.

Además, el proyecto integra componentes de análisis espacial, programación matemática y simulación operativa, lo que permite a estudiantes y profesionales de Ingeniería Industrial fortalecer sus competencias en la aplicación de metodologías cuantitativas para la solución de problemas reales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Rediseñar la red de distribución de la empresa de materiales de construcción hasta septiembre de 2025 para mejorar el nivel de servicio, lograr que al menos el 80 % de sus entregas cumplan con un nivel de servicio de menos de 8 horas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la capacidad y ubicación de los centros de distribución actuales y potenciales, considerando accesibilidad, costos de transporte y tiempos de traslado.
- Simular los escenarios para estimar tiempos de entrega promedio por ruta, utilización de recursos y cumplimiento del nivel de servicio tanto para transporte primario como secundario (<12 y <8 horas, respectivamente).

- Respetar la capacidad operativa del centro de distribución principal a un mínimo de 110 pedidos procesados por día.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Logística y cadena de suministro

En la actualidad, las organizaciones se enfrentan a entornos altamente competitivos donde la capacidad de llevar productos a sus clientes de manera rápida, eficiente y confiable resulta un factor clave y diferenciador. En este contexto, la cadena de suministro es entendida como el conjunto de procesos, actividades y actores que permiten que un bien o servicio fluya desde el proveedor de materias primas hasta el consumidor final, integrando tanto flujos físicos como de información y financieros (Kain y Verma, 2018), y dentro de ella, según Ballou (2004), la logística desempeña un papel fundamental al encargarse de planificar, implementar y controlar el movimiento y almacenamiento de productos, asegurando que lleguen al lugar correcto, en el momento adecuado y en las condiciones esperadas.

A medida que los mercados se expanden y las exigencias de servicio se vuelven más estrictas, surge la necesidad de herramientas que permitan optimizar recursos, reducir tiempos y garantizar un desempeño sostenible (Huang, Wu, Cao, y Zhang, 2025). Bajo esta visión, el diseño de redes de distribución se posiciona como un componente estratégico que conecta las decisiones de la cadena de suministro con la operación diaria, sentando las bases para la competitividad a largo plazo (Coyle, Langley, Novack, y Gibson, 2018).

1.4.2 Diseño de red y modelos de optimización

Para Monsavi y Vahdani (2016), el diseño y rediseño de estas redes responden a decisiones estratégicas con un impacto duradero en la capacidad de una empresa para satisfacer a sus clientes y mantener su relevancia en el mercado. En la industria, evaluar la configuración logística es fundamental para mejorar tanto la eficiencia operativa como la rentabilidad, pues implica definir dónde se ubicarán las instalaciones clave, como fábricas,

centros de suministro y almacenes; cómo se entregarán los productos a los puntos de demanda; qué productos se producirán o almacenarán y en qué cantidades; además de determinar qué clientes serán atendidos por cada instalación y los niveles adecuados de inventario (Mogale, Ghadge, y Jena, 2025).

Para lograr esto, Marianov, Serra, y ReVelle (1999) manifiestan que es común el uso de diversos modelos y enfoques que buscan equilibrar costos, tiempos de transporte y nivel de servicio, enfrentando la complejidad de compensación entre localización de centros, inventario y tiempos de entrega y sus objetivos principales se centran en minimizar los costos totales de operación, reducir los tiempos de transporte, y según Zarejeddi, Izadi, Titidez, y Razavi (2025), maximizar la cobertura de la demanda, y garantizar la sostenibilidad ambiental y social.

Para abordar dichos desafíos, de acuerdo con Şahin y Süral (2007), se han desarrollado distintos métodos: desde la programación matemática, particularmente la Programación Lineal Entera (ILP) y Programación Entera Mixta (MIP) aplicadas a problemas de localización-rutas y variantes multiobjetivo, hasta algoritmos heurísticos y metaheurísticos (como algoritmos genéticos, búsqueda tabú o de recocido simulado) que permiten resolver instancias de gran escala. Así, Serrano, Delorme, y Dolgui (2021) mencionan que dichas herramientas resultan de gran utilidad para planificar la distribución y las operaciones, buscando minimizar costos totales, y permitiendo manejar aspectos complejos como múltiples depósitos, diferentes tipos de productos, flotas heterogéneas y restricciones operativas (Mogale, y otros, 2025).

Además, los modelos de red tiempo-espacio ayudan a capturar las dinámicas espaciales y temporales de la logística, siendo especialmente útiles para productos perecederos, ya que permiten optimizar la madurez del producto junto con la logística, lo que

puede traducirse en reducción de costos y mejora en la calidad (Jiang, Bian, Zheng, y Chu, 2024).

En cuanto a la optimización de rutas, según Rardin (2017), los Problemas de Enrutamiento de Vehículos con Múltiples Depósitos (MDVRP) se enfocan en planificar las rutas de vehículos que salen de varios depósitos para atender a los clientes, considerando factores como costos de conductores, rutas entre depósitos, demanda dinámica, flotas heterogéneas, *cross-docking*, tipos de productos, capacidad de vehículos y restricciones de tiempo.

1.4.3 Sistemas de Información Geográfica

Por otra parte, Qu (2024) menciona que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas clave para seleccionar ubicaciones óptimas, diseñar rutas de entrega eficientes y gestionar la información logística de forma inteligente; su uso puede mejorar la eficiencia de las entregas en casi un 12% y reducir el consumo de combustible. Entre las mejores prácticas, Serrano y otros (2021) destacan la optimización integrada, que combina la planificación de distribución y operaciones para lograr reducciones significativas en costos: por ejemplo, una empresa automotriz logró disminuir el costo total en un 13% y los costos de transporte de entrada en un 20%. En otra instancia relacionada con la logística de perecederos, integrar la madurez del producto en la planificación de cosecha y distribución mejoró la calidad del servicio entre un 22,57% y un 50,21% (Jiang, y otros, 2024).

1.4.4 Gestión de incertidumbre

Deng, Liang y Hong (2023) afirman que es fundamental gestionar la incertidumbre mediante modelos como la optimización robusta distribuida y reglas de decisión lineales, que permiten adaptar las operaciones a la demanda en tiempo real, aumentando la flexibilidad y reduciendo la complejidad computacional, algo crucial en entornos con demanda incierta o limitada. Los autores mencionan que la adaptabilidad a escenarios dinámicos es otra ventaja,

especialmente en industrias con demanda variable y grandes distancias, donde el uso de depósitos intermedios como facilita el transporte eficiente y la capacidad de cumplir con pedidos frecuentes.; por ende, la selección de ubicaciones para estas instalaciones debe considerar múltiples criterios, como costos laborales, tiempos de viaje, habilidades del personal y regulaciones gubernamentales. Para manejar la complejidad y la incertidumbre en estas decisiones, se emplean modelos de decisión grupal jerárquicos con lógica difusa intuicionista, que ayudan a manejar la imprecisión y la indecisión de los expertos involucrados (WareSpace, 2024).

1.4.5 Centros de distribución, Cross-docking y sostenibilidad

De Oliveira, Pereira, Magalhães, Dos Santos, y Souza (2022) expresan que los elementos de las redes logísticas están los centros de distribución, instalaciones fijas que funcionan como puntos clave dentro de una red, y se encargan de entregar productos a sucursales y otros centros, por lo que elegir su ubicación es una decisión estratégica fundamental, ya que influye directamente en la reducción de costos y en la mejora del servicio al cliente. En este contexto, el *cross-docking* se consolida como una práctica logística moderna que introduce nodos intermedios en la cadena de distribución para optimizar los procesos y consiste en consolidar múltiples envíos provenientes de proveedores y destinados a minoristas, con el fin de lograr economías en el transporte y cumplir con entregas justo a tiempo (JIT) (Sebatjane, Nobil, y Nobil, 2025). Los productos se descargan, escanean, clasifican, manipulan y vuelven a cargar, generalmente en menos de 48 horas, evitando que permanezcan almacenados por largos periodos, esto con el objetivo de reducir al máximo el tiempo que los productos pasan en el almacén, lo cual es especialmente beneficioso para políticas de inventario bajo y para productos refrigerados, congelados o perecederos, ya que también disminuye los costos asociados al mantenimiento de existencias (Potoczki, Holzapfel, Kuhn, y Sternbeck, 2024).

Entre las ventajas estratégicas y operativas del *cross-docking*, según Fabry, Agnetis, Berghman, y Briand (2022), destaca su capacidad para consolidar físicamente y a nivel informativo los envíos, lo que reduce los costos de transporte de larga distancia; además, esta práctica facilita que los proveedores puedan transportar y almacenar productos cerca de los clientes potenciales con anticipación, lo que es vital para responder a demandas frecuentes y variables. Así, Arévalo, y otros (2025) afirman que, al minimizar el tiempo de almacenamiento, también se reducen significativamente los costos de inventario y manipulación, mejorando el nivel de servicio, y desde el punto de vista ambiental, contribuye a disminuir el impacto reduciendo las distancias recorridas y optimizando los flujos logísticos por consolidación de rutas y una mejor utilización de vehículos, reduciendo el consumo de combustible y las emisiones de carbono. Sin embargo, no se está exento de desafíos: coordinar la llegada y salida de camiones puede ser complicado debido al espacio limitado y al número reducido de puertas en los centros, y los problemas de programación asociados suelen ser complejos y difíciles de resolver (Taheri y Taft, 2024).

Las restricciones urbanas también afectan significativamente la logística, especialmente en zonas densamente pobladas, pues, de acuerdo con De Oliveira y otros (2022), se implementan estrategias como entregas fuera de horas pico, uso de vehículos más ecológicos o la creación de *microhubs* urbanos para enfrentar estos desafíos, y en el sector de la construcción, estas restricciones dificultan cumplir con los tiempos y obligan a emplear vehículos pequeños o especializados, lo que puede aumentar los costos fijos, aunque reduce los gastos de última milla.

En cuanto a la sostenibilidad, para Marmolejo, Niembro, y Alva (2019) se ha vuelto un eje central en logística, considerando los tres pilares del enfoque de triple resultado: personas, planeta y ganancias. El diseño de la red debe considerar la ubicación, capacidad y número de instalaciones, ya que estas determinan la intensidad del transporte y su impacto

ambiental. Una cadena de suministro sostenible también debe ser resiliente ante interrupciones ambientales, sociales o políticas, y para evaluar su impacto ambiental, se puede aplicar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (Björklund y Piecyk-Ouellet, 2021).

Capítulo 2

2. Metodología

La metodología aplicada en este trabajo siguió una secuencia estructurada de etapas que integró herramientas cualitativas y cuantitativas, con el objetivo de diseñar una red de distribución eficiente, sostenible y alineada con los requerimientos de los clientes y las capacidades de la empresa. Este enfoque permitió que cada fase del proceso aportara insumos valiosos para la siguiente, de modo que el resultado final no fuera una decisión aislada o arbitraria, sino el producto de un análisis sistemático, verificable y soportado en evidencia empírica.

2.1 Análisis de la voz del cliente (VOC)

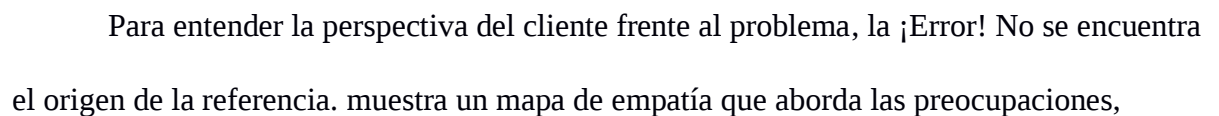
Para entender la perspectiva del cliente frente al problema, la  muestra un mapa de empatía que aborda las preocupaciones, frustraciones, motivaciones y demás puntos de vista que tenía sobre el contexto de su red logística, así como su actuar, pensar y decidir referente al mismo. Asimismo, utilizando entrevistas, encuestas y revisión de contratos de servicio que establecían acuerdos de nivel de servicio (SLA), la Figura 2 representa un resumen del análisis de la Voz del Cliente (VOC), donde los clientes manifestaron tres exigencias recurrentes: primero, que los pedidos fueran entregados en un plazo establecido; segundo, que el servicio se mantuviera con costos competitivos frente a la oferta del mercado; y tercero, que existiera continuidad y confiabilidad en la operación, minimizando cancelaciones o retrasos.

Figura 1*Mapa de empatía del cliente***Figura 2***Resumen de la Voz del Cliente (VOC)*

Necesidades identificadas	Frustraciones y problemas actuales	Deseos y expectativas del cliente	Requisitos técnicos y estratégicos	Implicaciones para el rediseño (deben considerarse)
Aumentar la velocidad y eficiencia de entrega, especialmente para productos frescos (70 % de los envíos de este tipo)	Retrasos en las entregas; tiempos de entrega entre 6 y 16 h	Mejorar los tiempos de entrega, especialmente en entregas rápidas o completas	Apertura de centros de distribución tipo cross-docking próximos a las zonas de alta rotación (Zumbos, San Lorenzo, Manta, etc.)	Segmentación y priorización de envíos según tipos de solicitud
Incrementar niveles aceptables de SLA: entregas entre 24 y 48 h	Necesidad de pagar tarifas más altas por entregas en menos de 24 h	Optimizar la logística de última milla para responder a las condiciones operativas	Mejora de proveedores externos o infraestructura low-cost/tiers para aumentar la cobertura operativa	Capacidad de adaptarse a fluctuaciones de demanda
Aumentar consistencia y disponibilidad en la entrega (especialmente en zonas con alta demanda como Guayaquil)	Falta de uniformidad en la entrega; falta de pautas de programación entre centros o cross-docks	Ajustar la infraestructura para manejar crecimiento de volumen	Integración de centros logísticos entre 3PL y operadores existentes dependiente del volumen	Incorporación de indicadores de desempeño (KPI), incentivos, cumplimiento por zona
Eliminar restricciones en la cantidad de envíos máximos	Restricciones múltiples limitan la cantidad de envíos posibles	Implementación de reglas automáticas para liberar envíos o acceder a rutas limitadas	Trazabilidad, cumplimiento de estándares (SLA, cumplimiento dentro de 48 h o nivel estándar)	Escalabilidad de la infraestructura para respaldar crecimiento progresivo

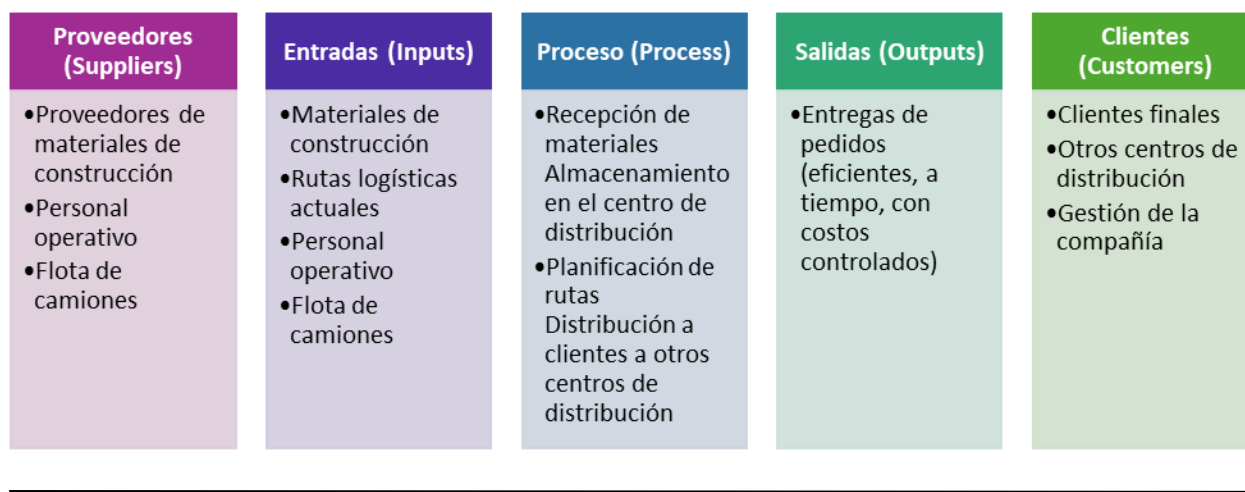
El análisis VOC permitió estructurar estas expectativas en forma de requerimientos operativos, convirtiéndose en el insumo inicial para traducir la voz del cliente en parámetros técnicos. Esta representación gráfica facilitó visualizar la relación entre lo que los clientes esperan y lo que la empresa debe asegurar en términos de capacidad, tiempos y costos.

2.2 Mapeo del proceso actual (SIPOC)

Para comprender las limitaciones del sistema vigente, se elaboró un diagrama SIPOC que mapeó el flujo desde los proveedores hasta los clientes, como se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Diagrama SIPOC del proceso de distribución



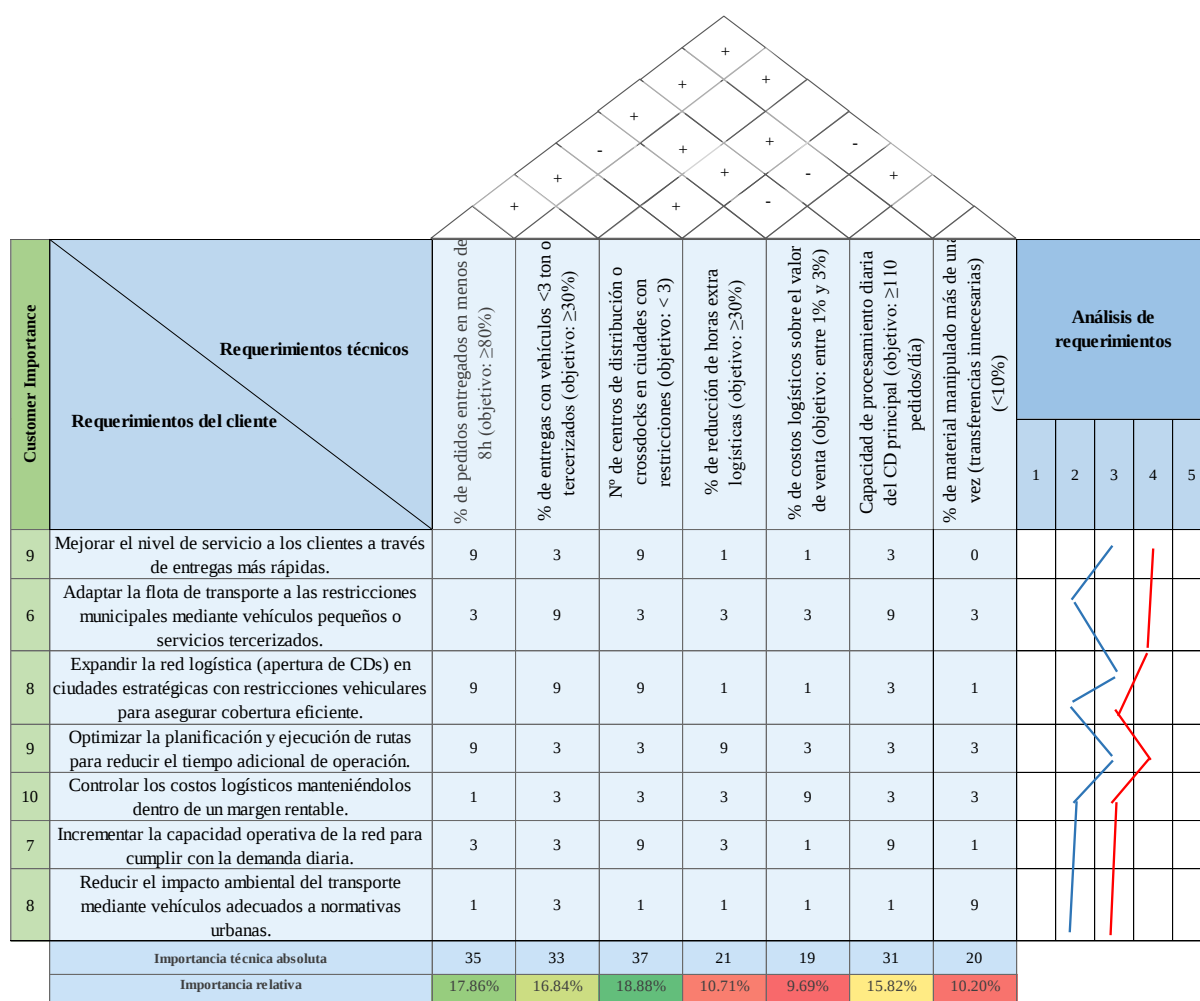
Este ejercicio evidenció varias ineficiencias: un alto grado de dependencia de un único centro de distribución, altos costos fijos de transporte, rutas con baja consolidación de carga y limitaciones de infraestructura en el almacén actual. Estos hallazgos confirmaron la necesidad de rediseñar la red bajo un modelo más flexible y descentralizado.

2.3 Despliegue de la función de calidad (QFD)

Para traducir las necesidades del cliente en especificaciones técnicas concretas, se aplicó la herramienta de Despliegue de la Función de Calidad (QFD), particularmente a través de la Casa de la Calidad. En el diagrama representado por la Figura 4 se correlacionaron los requerimientos identificados en el VOC con variables técnicas como la capacidad de almacenamiento de los centros de distribución, la disponibilidad de la flota, la localización geográfica de las bodegas, los costos de arrendamiento y la facilidad de expansión.

Figura 4

QFD de las necesidades del cliente traducidas a requerimientos técnicos con su correlación



El QFD mostró, por ejemplo, que la exigencia de entregas en un plazo no mayor a 8 horas dependía en gran medida de la ubicación estratégica de los centros de distribución, de la infraestructura vial disponible y de la capacidad de los vehículos. Por otra parte, la expectativa de costos competitivos estaba altamente correlacionada con la posibilidad de consolidar cargas en centros de distribución nuevos (menos de 3) a precios razonables. Esta herramienta aportó una visión sistémica, mostrando cómo cada decisión técnica afectaba el cumplimiento de los objetivos del cliente.

2.4 Plan de recolección de datos

El punto de partida de la construcción de la propuesta fue la recolección de datos, que representó una de las fases más críticas del proceso. Se construyó una base de información proveniente de múltiples fuentes: registros históricos de la empresa, estadísticas del sector logístico, tarifas de servicios básicos publicadas por instituciones oficiales, referencias de costos de adecuación de infraestructura y, de manera complementaria, información georreferenciada de las principales ciudades del país. La recopilación, resumida en la Tabla 1, incluyó la ubicación geográfica; la demanda por ciudad; los costos de transporte, manipulación, inventario, y fijos de las instalaciones potenciales; y los tiempos de viaje incurridos en las entregas.

El proceso de recolección no se limitó únicamente a los valores cuantitativos. También se levantaron datos cualitativos mediante entrevistas con personal logístico, conductores y responsables de almacenes, lo que permitió entender mejor las dinámicas actuales de distribución y las limitaciones de la operación existente.

Tabla 1*Plan de recolección de datos*

Notación	Variable	Responsable	Definición operacional	Unidad de medida	Método de recolección
X1	Ubicación de clientes	Luis Alvarado y Nahín Mota	Coordenadas geográficas de clientes activos	Grados (lat., long.)	Extraer del histórico de órdenes y ventas
X2	Demanda regional	Luis Alvarado y Nahín Mota	Total de unidades demandadas por región/cliente por período	Unidades/mes	Extraer de pronósticos o pedidos verificados por región
X3	Costo de transporte	Luis Alvarado y Nahín Mota	Costo unitario de transporte entre rutas	USD/kg	Recuperar tarifas de transportistas o contratos de abastecimiento
X4	Costo de manejo de material e inventario	Luis Alvarado y Nahín Mota	Costo por unidad o kg manipulado en centro de distribución	USD/unidad	Utilizar registros internos de costos operacionales
X5	Costos fijos (mantenimiento)	Luis Alvarado y Nahín Mota	Costo fijo para apertura y operación de un centro de distribución/ <i>cross-dock</i>	USD/período	Extraer de documentos de planificación financiera
X6	Tiempos de entrega	Luis Alvarado y Nahín Mota	Tiempo que toma entregar pedidos desde el centro de distribución hasta clientes	horas	Extraer tiempos de entrega desde base de datos de pedidos

Una vez obtenida la información, se llevó a cabo un proceso riguroso de depuración. Este consistió en aplicar controles de consistencia, como la verificación de que los volúmenes de pedidos se correspondieran con los registros de facturación, que las unidades de medida

fueran homogéneas (por ejemplo, convertir toneladas métricas a kilogramos cuando era necesario) y que los costos fueran expresados en el mismo orden de magnitud (decenas, centenas, miles, etc.). Además, se identificaron y corrigieron datos atípicos, como distancias reportadas erróneamente o tarifas desactualizadas. Esta fase garantizó que las bases utilizadas en los modelos posteriores fueran coherentes y confiables, evitando sesgos o errores que pudieran comprometer los resultados.

2.5 Análisis de la demanda: ABC y Pareto

Una de las fases centrales de la metodología fue el análisis de la concentración de la demanda. Para ello se aplicó un análisis ABC, que clasificó las ciudades en tres categorías según su aporte acumulado a la demanda total. Las ciudades de categoría A fueron aquellas que representaron un porcentaje reducido del total de ubicaciones, pero con un volumen muy significativo de pedidos. Las categorías B y C, en cambio, agruparon ciudades con volúmenes medios y bajos respectivamente.

La Tabla 2 resume dicho análisis con la demanda por ciudad, donde se presenta una fuerte heterogeneidad en los patrones de pedidos, revelando que unas pocas ciudades concentraban un volumen muy significativo de la demanda total, mientras que otras tenían un peso marginal. Este hallazgo fue la primera evidencia de la necesidad de priorizar ciertas ubicaciones en la planificación de la red, de cuyo análisis fueron escogidas Santa Elena, Quevedo, Machala, Manta, Quito, Portoviejo y Puerto López como potenciales ubicaciones para centros de distribución. Sin embargo, es importante mencionar que la red actual ya cuenta con una bodega en la ciudad de Portoviejo que abastece a clientes en la misma ciudad y a gran parte de la provincia de Manabí como Manta, Puerto López, Chone y Jipijapa. El resultado fue contundente: unas pocas ciudades explicaban la mayor parte de la demanda, lo que justificó focalizar los análisis de localización en estos puntos estratégicos.

Tabla 2*Clasificación ABC de demanda en kilogramos de ciudades de la red*

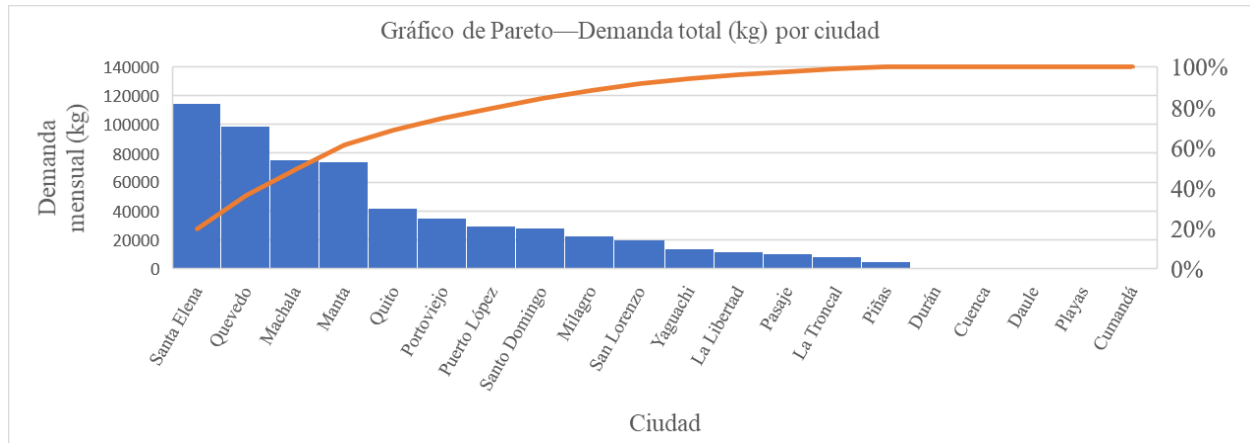
Ciudad	Demanda mensual (kg)	% Relativo	% Acumulado	Categoría
Santa Elena	114.442,31	19,38%	19,38%	A
Quevedo	99.070,20	16,77%	36,15%	A
Machala	75.403,00	12,77%	48,91%	A
Manta	74.000,00	12,53%	61,44%	A
Santo Domingo	42.000,00	7,11%	68,55%	A
Portoviejo	35.000,00	5,93%	74,48%	A
Puerto López	29.765,87	5,04%	79,52%	A
Quito	28.000,00	4,74%	84,26%	B
Milagro	22.844,29	3,87%	88,13%	B
San Lorenzo	20.000,00	3,39%	91,51%	B
Yaguachi	14.000,00	2,37%	93,88%	B
La Libertad	12.000,00	2,03%	95,92%	C
Pasaje	10.000,00	1,69%	97,61%	C
La Troncal	8.000,00	1,35%	98,96%	C
Piñas	5.000,00	0,85%	99,81%	C
Durán	532,01	0,09%	99,90%	C
Cuenca	480,71	0,08%	99,98%	C
Daule	86,90	0,01%	100,00%	C
Playas	23,26	0,00%	100,00%	C
Riobamba	2,29	0,00%	100,00%	C
Total	590.650,84	100.00%		

Por otra parte, el centro de distribución ya existente en Guayaquil satisface a ciudades mostradas en la tabla anterior como Santa Elena, Milagro, Yaguachi, La Libertad, La Troncal, Daule y Playas, con lo que se delimita el número de ciudades de demanda a considerar en la posterior etapa. Así, las ciudades para potenciales centros de distribución son Quevedo, Machala y Santo Domingo, y las ciudades de demanda son estas más Quito, San Lorenzo, Pasaje, Piñas, Cuenca y Riobamba.

La relación acumulada entre el número de ciudades y la proporción de la demanda atendida también puede ser visualizada en la Figura 5.

. Figura 5

Pareto de demanda por ciudad



El análisis confirmó que 7 ciudades concentraban cerca del 80% de la demanda y concentran alrededor de 420 clientes. Esto permitió reducir la complejidad de los modelos de optimización, enfocándolos en un subconjunto limitado pero representativo de ubicaciones críticas.

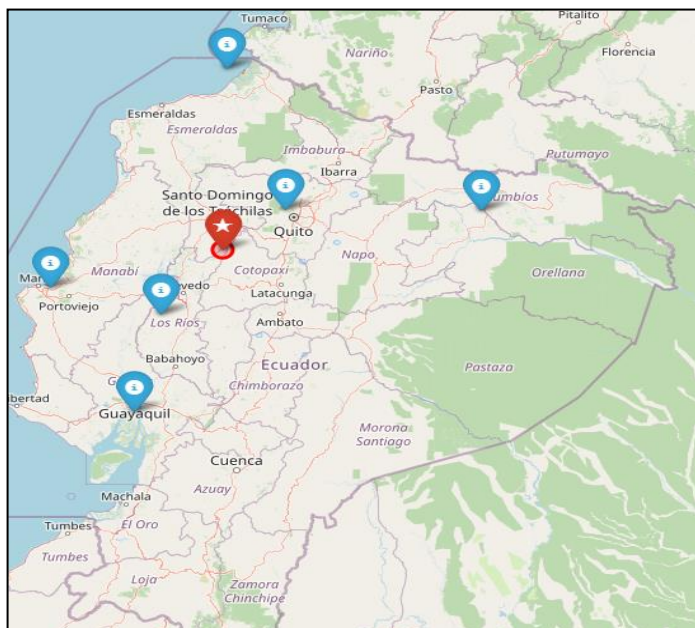
2.6 Agrupamiento exploratorio

Si bien el análisis ABC y el Pareto ofrecieron claridad en la priorización de ciudades, se complementó el ejercicio aplicando un modelo de agrupamiento mediante el algoritmo K-medias. El objetivo no fue obtener una respuesta definitiva, sino explorar visualmente cómo se agrupaba la demanda en función de la cercanía geográfica y la densidad de pedidos.

Los resultados del agrupamiento, representados en la Figura 6, fueron consistentes con los obtenidos en el ABC y Pareto: los puntos con mayor concentración de clientes coincidían con las ciudades de categoría A; en este caso, una ubicación intermedia entre Quevedo y Santo Domingo, ya mencionadas. Esta triangulación metodológica aumentó la robustez de la decisión de enfocar la ubicación de los centros de distribución en esas áreas específicas.

Figura 6

Ubicaciones resultantes del agrupamiento usando el método de K-medias



2.7 Análisis de costos

La siguiente fase consistió en un desglose exhaustivo de costos, dividido en tres grandes componentes: fijos (mantenimiento), transporte y manipulación.

En cuanto a los costos de mantenimiento, estos se estimaron por rubros de arriendos, energía, agua, limpieza, seguros, telecomunicaciones, tasas municipales y salarios, representados en la Tabla 3.

Tabla 3

Costos de mantenimiento mensual por ciudad potencial

Rubro	Santo Domingo (\$)	Machala (\$)	Quevedo (\$)
Energía	2.197,30	2.417,03	2.417,03
Agua	110,00	110,00	110,00
Sueldos	4.982,00	5.452,00	5.922,00

Rubro	Santo Domingo (\$)	Machala (\$)	Quevedo (\$)
Limpieza	1.050,00	1.155,00	1.155,00
Seguros	1.750,00	1.900,00	1.850,00
TI	150,00	150,00	150,00
Mantenim.	946,00	1.040,60	1.040,60
Permisos	180,00	160,00	160,00
Total	12.503,30	12.384,63	12.804,63

Finalmente, los costos de transporte se calcularon en dólares por kilogramo transportado, multiplicando la distancia entre Guayaquil y cada ciudad por un factor de conversión (\$/kg/km) obtenido de registros históricos de la empresa y ajustado por las condiciones de los corredores viales. La Tabla 4 y la Tabla 5 muestran los costos asociados a los diferentes tramos en la red: del centro de distribución principal de Guayaquil a las ciudades potenciales para los nuevos centros de distribución (más sitios de demanda), y de las ciudades candidatas para los nuevos centros de distribución a las ciudades de demanda, respectivamente.

Tabla 4

Costos de transporte directo desde el CD existente a las ciudades de demanda

Ciudad	Distancia (km)	USD/kg (Guayaquil → Ciudad)
Cuenca	194	\$0,097
Riobamba	105	\$0,052
La Troncal	141	\$0,070
Machala	190	\$0,095
Pasaje	208	\$0,104
Piñas	256	\$0,128
Puerto López	224	\$0,112
Quevedo	182	\$0,091
San Lorenzo	597	\$0,298
Santo Domingo	315	\$0,158

Tabla 5

Costo de transporte desde ciudades candidatas para CDs a ciudades de demanda

CD	Cuenca (\$/kg)	Riobamba (\$/kg)	La Troncal (\$/kg)	Machala (\$/kg)	Pasaje (\$/kg)
Machala	0,32	0,44	0,33	-	0,05
Quevedo	0,60	0,39	0,44	0,71	0,72
Santo Domingo	0,85	0,64	0,73	1,05	1,05

CD	Puerto López (\$/kg)	Quevedo (\$/kg)	Santo Domingo (\$/kg)	Piñas (\$/kg)	San Lorenzo
Machala	0,59	0,71	0,97	0,16	1.02
Quevedo	0,45	-	0,26	0,83	0.64
Santo Domingo	0,83	0,39	0,21	1,14	0.59

Las estimaciones alcanzadas en este análisis garantizaron que los modelos de optimización utilizaran valores cercanos a la realidad. Además, la transparencia de los cálculos permitió justificar cada componente, mostrando cómo los costos de arrendamiento, servicios básicos y transporte se integraban en el costo total de operación.

Por otra parte, los costos de manipulación de la empresa representan los gastos asociados al movimiento y la gestión física de los materiales dentro del centro de distribución. Estos se resumen en la Tabla 6, e incluyen:

- Costos operativos: materiales de embalaje, combustible para montacargas, mantenimiento de equipos y otros gastos relacionados.
-

Tabla 6

Rubros usados para estimación de costos de manipulación

Rubro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total	Nota
Gastos de embalaje (\$)	2.945	3.156	2.879	2.963	3.255	3.455	18.653	Materiales de embalaje para

Rubro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total	Nota
Reparación y mantenimiento (\$)	358	426	248	349	387	159	1.927	su expedición. Mantenimiento general de equipos de almacén.
Gastos de combustible (maquinaria) (\$)	134	197	137	218	175	64	927	Carretillas elevadoras.

Los insumos para los costos de manipulación se obtuvieron de los registros contables históricos de la empresa, entre los que incluían a los gastos operativos. Cuando ciertos costos se concentraban en un solo mes, los valores se redistribuyeron a lo largo del año para reflejar un comportamiento operativo promedio sin alterar los totales anuales. Finalmente, en la Tabla 7, se muestra el valor usado como referencia para la propuesta.

Tabla 7

Costo de manipulación tomando en cuenta kg procesados y gastos incurridos en procesamiento

Total	Promedio mensual	kg procesados por mes	Coste de manipulación por kg
\$ 21.507	\$ 4.301	590.650	\$ 0,01

Nota. Se consideró el promedio de los cinco meses completos de los que se tenía registro.

Los costos de manejo de material en los centros de distribución se calcularon tomando como referencia el valor correspondiente al centro de distribución principal, donde este rubro equivale a \$0,01 por kilogramo procesado. Sin embargo, para los centros de distribución potenciales se establecieron valores menores, dado que el volumen de material gestionado en ellos es considerablemente inferior al del centro principal. Así, considerando sus capacidades operativas: Quevedo con 169.388 kg, Santo Domingo con 103.041 kg y Machala con 109.061 kg, se asignaron costos unitarios de \$0,002 por kg en Quevedo y Machala, y de \$0,0025 por

kg en Santo Domingo, reflejando la economía de escala y el nivel de actividad relativa de cada instalación.

2.8 Modelo de optimización

Con los insumos definidos, se formularon dos modelos de optimización de la red. El primero, fue el modelo multi-ruta que consideraba entregas directas desde el proveedor en Guayaquil hacia cada ciudad destino. Aunque sencillo, mostró limitaciones significativas: duplicación de viajes, altos costos por falta de consolidación y dificultades para cumplir con las metas de entrega en menos de 8 horas. El segundo modelo fue el de transbordo, que incorporó centros de distribución intermedios como nodos de consolidación, flujos de producto y tiempos en ruta. La comparativa de los modelos se resume en la Tabla 8.

Tabla 8

Comparación de modelos para la propuesta

Aspecto	Modelo de Localización-Ruteo Multi-Nivel	Modelo Híbrido de Transbordo
Objetivo	Minimizar el costo total mediante la selección de instalaciones y la asignación de ciudades	Minimizar el costo logístico total con optimización completa del flujo
Tipo de modelo	Localización de instalaciones y asignación (flujos discretos)	Modelo de flujo multinivel con opciones de envío volumétrico y directo
Cobertura de clientes	Cada ciudad se asigna a un único centro de distribución (CD)	Volúmenes de flujo desde el centro a 5 regiones de demanda; proporciones optimizadas
Componentes de costo	Costos fijos de apertura + transporte + manipulación	Costos fijos, reales y por volumen de transporte + manipulación + opción de envío directo
Peso volumétrico considerado	No incluido	Sí, incluido
Envío directo permitido	No	Sí, evaluado y seleccionado en la solución óptima
Restricciones de entrega urbana	No modeladas	Impuestas: ≥ 30 % vehículos pequeños o subcontratados

Aspecto	Modelo de Localización-Ruteo Multi-Nivel	Modelo Híbrido de Transbordo
Realismo operativo	Simplificado, decisiones a nivel estratégico	Modelo detallado a nivel operativo con restricciones y realismo en costos
Salida del solucionador	Asignaciones binarias	Flujos continuos con decisiones binarias sobre instalaciones
Fortalezas	Rápido, simple, útil para planificación estratégica de instalaciones	Completo, flexible, preciso en costos, soporta decisiones tácticas
Limitaciones	No incluye lógica de flota, volumetría ni flexibilidad a nivel de ruta	Requiere más datos y esfuerzo computacional; más complejo de implementar

Este enfoque permitió optimizar las rutas, reducir kilómetros recorridos y aprovechar economías de escala. En la práctica, el modelo de transbordo se tradujo en menores costos logísticos y en un cumplimiento superior de los tiempos de entrega.

A continuación, se explica el modelo final utilizado para la propuesta de rediseño de la configuración logística, presentando primero sus principales componentes. Se partió por establecer los conjuntos a tomar en cuenta, como se muestra en la Tabla 9, donde figuraban el centro de distribución (CD) principal, diez ciudades de demanda, y tres ciudades candidatas para ubicar centros de distribución. Cabe mencionar que el prototipo incluye a aproximadamente 420 clientes de los 1200 que se tienen registro.

Tabla 9

Conjuntos usados en el modelo de optimización

Notación	Significado
I	Conjunto de CD existente, $i = \{1\}$
J	Conjunto de ciudades de demanda, $j = \{1, 2, \dots, 10\}$
K	Conjunto de CD candidatos, $k = \{1, 2, 3\}$

Posteriormente, los parámetros usados en la formulación son presentados en la Tabla 10, los que nacen de la recolección de datos de etapas anteriores.

Tabla 10

Parámetros del modelo

Notación	Significado	Unidad
Cap_i	Capacidad del proveedor i (en GYE)	kg
Dem_j	Demanda mensual de la ciudad j	kg
a_{ik}	Costo de transporte de proveedor i a CD k	\$/kg
b_{kj}	Costo de transporte de CD k a ciudad j	\$/kg
cd_{ij}	Costo de transporte de proveedor i a ciudad j	\$/kg
h_k	Costo de manejo de material	\$/kg
Fm_k	Costo mensual de mantenimiento de CD k	\$
DC_k	Capacidad del CD k	kg
T_{ik}	Tiempo de viaje de proveedor i a CD k	Horas (h)
T_{kj}	Tiempo de viaje de CD k a ciudad j	Horas (h)
T_{ij}	Tiempo de viaje de proveedor i a ciudad j	Horas (h)
MaxOpen	Número máximo de CD abiertos	Sin dimensión (número entero)

Asimismo, las diferentes variables de decisión son descritas en la Tabla 11.

Tabla 11

Variables de decisión del modelo

Notación	Significado	Unidades
x_{ik}	Flujo desde CD existente i a CD candidato k	kg/mes
y_{kj}	Flujo desde CD candidato k a ciudad j	kg/mes

Notación	Significado	Unidades
w_{ij}	Flujo desde CD existente i a ciudad j	kg/mes
y_k	Variable binaria: 1 se abre el CD candidato k, 0 no se abre	Adimensional
T_{total}	Tiempo en tránsito ponderado	kg-h
T_{avg}	Tiempo promedio en tránsito	h

Nota. El tiempo promedio en tránsito por unidad (T_{avg}) es incluido en el modelo solamente como una variable de respuesta usada para medir el nivel de servicio alcanzado con la configuración optimizada, y se calcula como el tiempo en tránsito mensual ponderado (T_{total}) dividido para la demanda mensual total (Dem_j), donde T_{total} se calcula como:

$$T_{total} = \sum_{i=1}^1 \sum_{k=1}^3 T_{ik} x_{ik} + \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^{10} T_{kj} y_{kj} + \sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^{10} T_{ij} w_{ij}$$

De esta forma, se construyó el modelo expuesto a continuación:

Función objetivo

$$\min \sum_{i=1}^1 \sum_{k=1}^3 a_{ik} x_{ik} + \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^{10} (b_{kj} + h_k) y_{kj} + \sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^{10} c_{ij} w_{ij} + \sum_{k=1}^3 FC_k y_k, \quad (2.1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^3 x_{ik} + \sum_{j=1}^{10} w_{ij} \leq Cap_i, \forall i \quad (2.2)$$

$$\sum_{k=1}^3 y_{kj} + \sum_{i=1}^1 w_{ij} = Dem_j, \forall j \quad (2.3)$$

$$\sum_{i=1}^1 x_{ik} = \sum_{j=1}^{10} y_{kj}, \forall k \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=1}^{10} y_{kj} \leq DC_k \cdot y_k, \forall k \quad (2.5)$$

$$\sum_{k=1}^3 y_k \leq MaxOpen \quad (2.6)$$

$$x_{ik}, y_{kj}, w_{ij} \geq 0, \forall i, j, k \quad (2.7)$$

$$y_k \in \{0,1\}$$

La función objetivo (2.1) minimiza los costos logísticos totales, entre los que se encuentran el costo de transporte 1) desde el proveedor i hasta los centros de distribución k , 2) desde los centros de distribución k hasta las ciudades de demanda j , y 3) desde el proveedor i hasta las ciudades de demanda j ; además de los costos de manejo de material e inventario, y los costos fijos de mantenimiento en el centro de distribución k .

Las restricciones 2.2 aseguran que el CD existente i no supla más producto del que puede procesar cada mes. Las restricciones 2.3 establecen que cada ciudad j reciba exactamente su demanda de productos, ya sea desde el CD candidato k o directamente desde el CD existente i . Las restricciones 2.4 de conservación de flujo hacen que todo lo que llega a un CD candidato k sea transferido a las ciudades de demanda j . Las restricciones 2.5 aseguran que, en caso de no abrirse un CD potencial k , este no pueda despachar producto; caso contrario, debe despachar una cantidad menor o igual a su capacidad. La restricción 2.6 fuerza un número máximo de CD permitidos. Las restricciones 2.7 son de tipo de variable: tres continuas y una binaria.

En conclusión, la metodología aplicada se distinguió por su coherencia y rigor. Cada etapa estuvo fundamentada en herramientas de análisis ampliamente aceptadas y fue acompañada de evidencia gráfica y numérica que permitió justificar las decisiones. El resultado final, la elección del modelo de transbordo, fue producto de un proceso sistemático que integró datos reales y estimados, además de los requerimientos técnicos previamente establecidos.

Capítulo 3

3. Resultados y Análisis

Como resultado del modelo de optimización anteriormente planteado, las ubicaciones para abrir un centro de distribución que cumplen con los requerimientos y minimizan los costos logísticos son Quevedo y Machala con alrededor de USD 41.320 mensuales entre fijos (mantenimiento) y variables (transporte y manipulación). El análisis de los tiempos de entrega y la verificación del cumplimiento del nivel de servicio ($SLA \leq 8$ horas) desde estos nuevos centros de distribución se desarrolló mediante una metodología apoyada en programación en Python, sistemas de información geográfica (SIG) y servicios de enrutamiento en carretera.

En primera instancia, se consolidó una base de datos con la ubicación geográfica de los nuevos centros de distribución (Quevedo y Machala), el centro de distribución existente en Guayaquil y la bodega de Portoviejo, y los clientes atendidos durante una semana del 11 al 15 de agosto de 2025, abarcando un total de 162 de los 420 analizados en el prototipo. Para cada uno de los clientes se registraron las coordenadas de latitud y longitud, el volumen despachado en kilogramos y se determinó automáticamente la ciudad en la que se encuentran a partir de sus coordenadas mediante técnicas de geocodificación inversa sin conexión. Estos datos fueron organizados en un marco de datos de Pandas dentro de un código en Python, lo que permitió su estructuración y posterior análisis automatizado. La inclusión de la ciudad del cliente en el reporte mejora significativamente la trazabilidad geográfica de la operación.

Posteriormente, se implementó un algoritmo que integra la librería *OpenRouteService* (ORS), basada en la red vial de *OpenStreetMap*, para calcular las distancias reales por carretera y los tiempos estimados de viaje entre cada CD y sus respectivos clientes. A diferencia de los cálculos basados en distancia euclidiana (línea recta), esta aproximación considera la infraestructura vial existente, velocidades promedio y trayectorias de conducción, proporcionando así resultados más cercanos a la realidad operativa logística.

ubicación, ciudad del CD asignado, distancia vial recorrida, tiempo estimado de entrega, volumen despachado (en kilogramos) y estado de cumplimiento del nivel de servicio (SLA).

Las conexiones entre los centros de distribución (y la bodega de Portoviejo) y sus respectivos clientes se representan mediante líneas de color verde si la entrega cumple con el nivel de servicio ($SLA \leq 8$ horas), o líneas rojas si no lo cumple, lo cual permite una visualización clara e intuitiva del desempeño logístico a nivel territorial.

Figura 8

Mapa interactivo de los nodos de la red propuesta

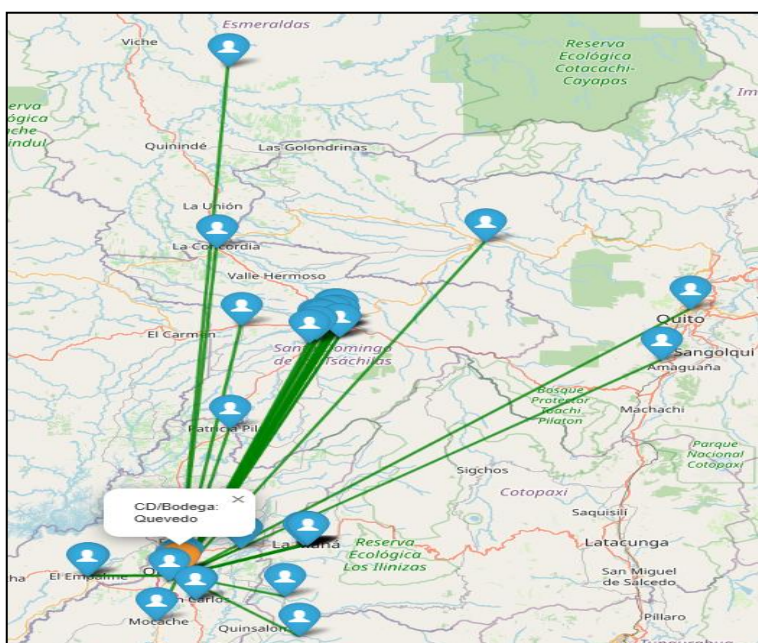


En la Figura 9, se presenta el nuevo centro de distribución ubicado en Quevedo, propuesto por el modelo de optimización desarrollado en GAMS, el cual evidencia un desempeño logístico altamente eficiente, al atender de manera efectiva tanto a la región Costa como a zonas de la Sierra ecuatoriana. Este análisis se basó en una muestra de 52 clientes asignados a este nodo, lo que permitió evaluar su desempeño operativo en un escenario representativo. En el mapa interactivo, todas las rutas generadas desde Quevedo se encuentran representadas en color verde, lo que indica un cumplimiento total del nivel de

servicio ($SLA \leq 8$ horas). Su ubicación estratégica permite abastecer de forma temprana a clientes en ciudades como Santo Domingo (1 h 36 min), Velasco Ibarra-El Empalme (22 min), El Carmen (57 min) y Quinindé-Rosa Zárate (3 h 30 min); y a localidades serranas como La Maná (40 min), Sangolquí (3 h 45 min), y sectores en Quito (4 h). Por otra parte, los costos de transporte desde el CD a las ciudades serían de \$285 a la semana, aproximadamente. Esta capacidad de cobertura interregional consolida la viabilidad de Quevedo como un nodo logístico versátil, eficiente y competitivo dentro de la red nacional de distribución, con alto potencial para complementar y descongestionar al centro de distribución principal en Guayaquil.

Figura 9

Mapa de clientes abastecidos desde CD nuevo en Quevedo

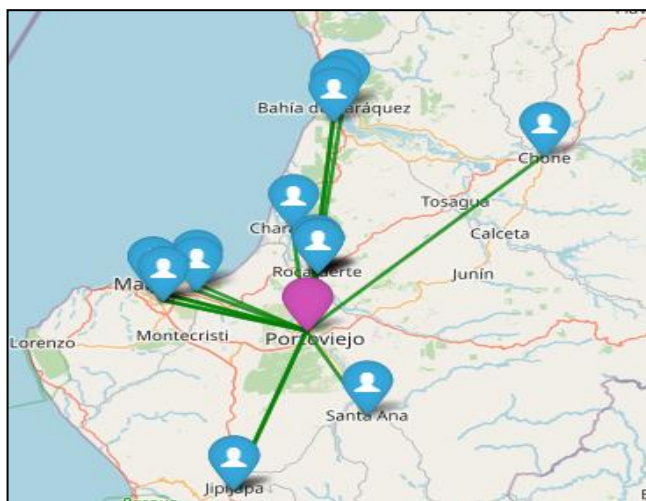


El análisis confirma que Quevedo constituye un punto estratégico, ya que su ubicación intermedia facilita la distribución hacia diferentes provincias, manteniendo un equilibrio entre las distancias al norte y al sur. Esto se traduce en un servicio logístico confiable, con baja probabilidad de incumplimiento del SLA.

La bodega ubicada en Portoviejo, representada en el mapa de la Figura 10 con un marcador de color violeta, cumple una función logística focalizada en el abastecimiento de la provincia de Manabí. El análisis se realizó sobre una muestra de 19 clientes asignados a esta instalación, ubicados en ciudades como Manta, a 33 minutos en promedio desde la bodega; Jipijapa, a 46 minutos; Chone, a 57 minutos; Rocafuerte, a 19 minutos; Santa Ana, a 27 minutos; y Bahía de Caráquez, a 1 hora. Todas las rutas generadas desde esta bodega se encuentran representadas en color verde, lo que indica que los tiempos de entrega cumplen con el nivel de servicio establecido ($SLA \leq 8$ horas). La distribución geográfica de los clientes, así como la corta distancia relativa entre ellos, evidencian que esta bodega permite una atención logística eficiente y rápida dentro del territorio manabita. Su operación, con un costo de transporte aproximado de \$56 por semana, fortalece la cobertura logística en la zona costera central del país, contribuyendo a descongestionar otros centros de distribución de mayor alcance y garantizando tiempos de respuesta competitivos en esta región estratégica.

Figura 10

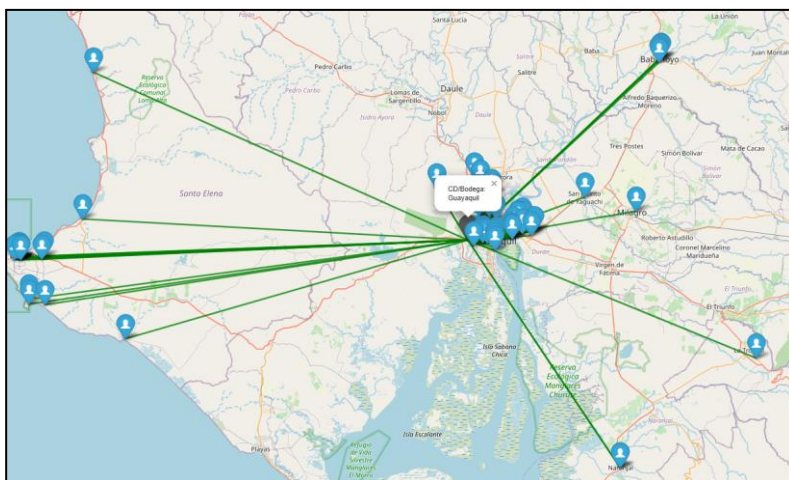
Mapa de clientes abastecidos por bodega en Portoviejo



La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el centro de distribución principal ubicado en Guayaquil, representado con un marcador de color púrpura oscuro, el cual constituye el nodo logístico más relevante dentro de la red de distribución actual de la empresa. Este análisis se realizó sobre una muestra de 73 clientes asignados a este centro, distribuidos en una amplia zona que abarca tanto áreas urbanas como rurales de la región Litoral. El mapa interactivo evidencia rutas que conectan con clientes en ciudades como Milagro, a 58 minutos en promedio desde el CD en Guayaquil; Daule, a 48 minutos; Babahoyo, a 1 hora y 33 minutos; Naranjal, a 1 hora y 32 minutos; La Troncal, a 1 hora y 27 minutos; Santa Elena, a 1 hora y 42 minutos La Libertad, a 1 h y 36 minutos; El Triunfo, a 21 minutos; Eloy Alfaro-Durán, a 25 minutos; y Yaguachi, a 52 minutos; todas representadas con líneas verdes, lo que indica que los tiempos de entrega cumplen con el nivel de servicio establecido ($SLA \leq 8$ horas). La alta densidad de clientes en el área metropolitana de Guayaquil refuerza su papel como eje central de distribución, y los costos de transporte asociados a estas rutas rondan los \$612 semanales. Además, su ubicación estratégica en proximidad a puertos marítimos, infraestructura vial principal y centros industriales, lo posiciona como un punto clave para garantizar eficiencia operativa, tiempos de entrega competitivos y una cobertura logística robusta en la costa ecuatoriana.

Figura 11

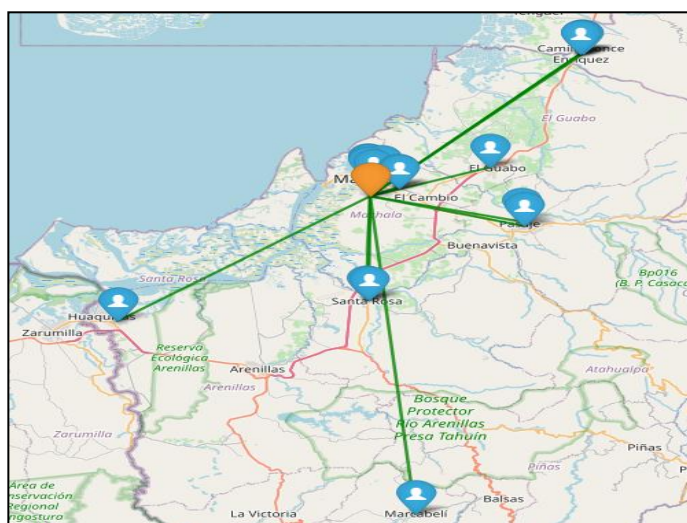
Mapa de clientes abastecidos desde CD existente en Guayaquil



El centro de distribución ubicado en Machala, representado en la Figura con un marcador de color naranja en el mapa interactivo, forma parte de las ubicaciones estratégicas propuestas por el modelo de optimización GAMS para mejorar la cobertura logística nacional. El análisis se realizó sobre una muestra de 18 clientes asignados a este nodo, principalmente ubicados en la provincia de El Oro, incluyendo localidades como Huaquillas, a 52 minutos en promedio desde el CD en Machala; Balao, a 45 minutos; Santa Rosa, a 23 minutos; El Guabo, a 25 minutos; Pasaje, a 25 minutos; Marcabelí, a 1 hora y 30 minutos; Piñas, a 1 hora y 10 minutos; y Cuenca, a 3 horas 25 minutos. Las rutas generadas desde este CD están representadas en color verde, lo que indica un cumplimiento total del nivel de servicio establecido ($SLA \leq 8$ horas), además de incurrir en un costo de transporte semanal aproximado de \$129. La disposición geográfica de los destinos atendidos, junto con su cercanía relativa, permite un servicio logístico ágil, eficiente y con tiempos de respuesta competitivos. La incorporación de Machala como nodo operativo contribuye a descentralizar la red logística, fortaleciendo la atención oportuna en la región sur del Ecuador, especialmente en zonas donde la cobertura desde el CD de Guayaquil podría resultar menos eficiente en términos de tiempo y distancia.

Figura 12

Mapa de clientes abastecidos por CD nuevo en Machala



Adicionalmente, como parte del análisis, se generó automáticamente un archivo en Excel que incluye, por cada cliente, ciudad del CD asignado, coordenadas del CD, nombre y ciudad del cliente, coordenadas del cliente, kilogramos despachados, distancia vial (km), tiempo estimado de viaje (h) y estado del nivel de servicio. Este archivo permite un análisis cuantitativo complementario, útil para la toma de decisiones en logística y planificación operativa.

Los resultados obtenidos, representados en la Figura 11, evidencian que la red de distribución evaluada presenta un desempeño altamente satisfactorio en cuanto al cumplimiento del nivel de servicio establecido ($SLA \leq 8$ horas). Durante la semana analizada, se atendió una muestra de 162 clientes distribuidos a nivel nacional, y en el 100% de los casos se logró cumplir con el tiempo máximo de entrega requerido, gracias a la adecuada asignación de clientes a los diferentes centros de distribución y a la bodega en operación. Esta cobertura eficiente indica que prácticamente todos los destinos se encuentran dentro de un radio logístico viable, permitiendo tiempos de entrega inferiores a ocho horas desde al menos uno de los nodos activos (CD principal, bodega operativa o ubicaciones propuestas por el modelo GAMS). Estos resultados validan la efectividad de la configuración evaluada y refuerzan su viabilidad operativa bajo condiciones reales de distancia vial.

Este hallazgo es significativo, ya que respalda la hipótesis de que la ubicación actual de los centros de distribución seleccionados es adecuada para garantizar tiempos de entrega eficientes en las principales zonas de cobertura.

Figura 11

Extracto de resultados de cumplimiento de nivel de servicio en transporte secundario (<8h)

Ciudad CD/Bodega	CD Lat	CD Lon	Nombre Cliente	Ciudad Cliente	Lat Cliente	Lon Cliente	Kg Semanal	Distancia real de carretera (km)	Tiempo (h)	Cumple SLA < 8horas
Portoviejo	-1,04083	-80,4652		Santa Ana	-1,20629	-80,3719	35,2	25,026	0,446	Cumple
Portoviejo	-1,04083	-80,4652		Bahia de Caraquez	-0,59105	-80,4086	108,59	73,315	1,048	Cumple
Portoviejo	-1,04083	-80,4652		Bahia de Caraquez	-0,60416	-80,4236	100	70,079	0,998	Cumple
Portoviejo	-1,04083	-80,4652		Bahia de Caraquez	-0,6256	-80,4251	30	67,614	0,964	Cumple
Portoviejo	-1,04083	-80,4652		Chone	-0,69543	-80,0949	2	71,456	0,941	Cumple
Guayaquil	-2,18831	-79,9458		La Libertad	-2,2286	-80,9092	34,72	127,57	1,577	Cumple
Guayaquil	-2,18831	-79,9458		Eloy Alfaro	-2,1689	-79,8028	4	24,07	0,539	Cumple
Guayaquil	-2,18831	-79,9458		Eloy Alfaro	-2,14987	-79,8291	5,15	19,476	0,469	Cumple
Guayaquil	-2,18831	-79,9458		Babahoyo	-1,7999	-79,5341	4	79,328	1,545	Cumple
Guayaquil	-2,18831	-79,9458		Eloy Alfaro	-2,14387	-79,8858	4	11,86	0,37	Cumple
Guayaquil	-2,18831	-79,9458		Guayaquil	-2,18868	-79,9147	2,57	4,475	0,132	Cumple
Guayaquil	-2,18831	-79,9458		Guayaquil	-2,19248	-79,8878	8	7,799	0,211	Cumple
Guayaquil	-2,18831	-79,9458		Eloy Alfaro	-2,17985	-79,8548	88,71	19,021	0,46	Cumple
Quevedo	-1,04057	-79,4667		Wilfrido Loor Moreira	-0,57223	-79,3695	1,8	60,443	0,95	Cumple
Quevedo	-1,04057	-79,4667		Santo Domingo de los Colorados	-0,26602	-79,1968	9	102,013	1,492	Cumple
Quevedo	-1,04057	-79,4667		Santo Domingo de los Colorados	-0,25639	-79,1657	32,95	107,086	1,568	Cumple
Quevedo	-1,04057	-79,4667		Santo Domingo de los Colorados	-0,25496	-79,1673	6,58	107,133	1,59	Cumple
Machala	-3,28619	-79,9576		Balao	-3,06189	-79,7472	35,75	42,46	0,736	Cumple
Machala	-3,28619	-79,9576		Balao	-3,06274	-79,7445	3	43,117	0,761	Cumple
Machala	-3,28619	-79,9576		Pasaje	-3,24039	-79,8375	2,24	17,898	0,352	Cumple
Machala	-3,28619	-79,9576		Machala	-3,27314	-79,9288	1,72	5,196	0,148	Cumple

Asimismo, se verificó el cumplimiento del nivel de servicio para el transporte primario, correspondiente a los traslados desde el centro de distribución principal en Guayaquil hacia los nuevos centros de distribución en Quevedo y Machala, así como hacia la bodega existente en Portoviejo. Tal como se muestra en la Figura 12, en todos los casos se obtuvo un tiempo estimado de traslado inferior a 12 horas: 3 horas 30 minutos a la bodega en Portoviejo, 3 horas 15 minutos al CD en Quevedo, y 3 horas 36 minutos al CD en Machala, lo que confirma la viabilidad operativa de estos enlaces dentro de la red logística evaluada.

Figura 12

Resultados de cumplimiento de nivel de servicio en transporte primario (<12h)

Ciudad CD principal	Latitud CD principal	Longitud CD principal	Ciudad de bodega/nuevo CD	Latitud bodega / nuevo CD	Longitud bodega / nuevo CD	Distancia real de carretera (km)	Tiempo (h)	Cumple SLA < 12 horas
Guayaquil	-2,1883114	-79,9457779	Portoviejo	-1,0408345	-80,4652483	195	3.5	Cumple
Guayaquil	-2,1883114	-79,9457779	Quevedo	-1,04057	-79,46672	186	3.25	Cumple
Guayaquil	-2,1883114	-79,9457779	Machala	-3,28619	-79,957589	192	3.6	Cumple

Es importante señalar que, si bien los resultados ofrecen una representación confiable y gratuita de la red vial global, los tiempos y distancias obtenidos pueden diferir levemente de plataformas comerciales como *Google Maps*, debido a diferencias en datos de tráfico, cobertura y modelos de cálculo. Sin embargo, dado que la metodología fue aplicada de manera consistente y uniforme a todos los registros, el análisis conserva su validez para comparaciones internas, evaluación del nivel de servicio y soporte en decisiones estratégicas, tales como la ubicación óptima de nuevos centros de distribución.

En cuanto a clientes ubicados en localidades más alejadas pertenecientes a la Amazonía ecuatoriana, se propone abastecerlos desde el centro de distribución más cercano según cada caso. Por ejemplo, Nueva Loja, con 6 clientes registrados, recibiría producto desde Quevedo, con un tiempo de viaje un poco superior a 11 horas. Tena, con 5 clientes, también sería provisto por el CD de la ciudad mencionada, en 7 horas y 20 minutos, cumpliendo con el nivel de servicio establecido. Los 4 clientes registrados en Puyo serían abastecidos en 6 horas, aproximadamente, también por el centro de distribución de Quevedo.

3.1 Costos de instalación

Para estimar el costo de instalación de los centros de distribución propuestos en Quevedo y Machala se siguió una metodología reproducible, basada en evidencia empírica (precios contractuales del portal de compras públicas) y en la corrección por diferencias territoriales mediante índices oficiales de precios de la construcción (IPCO) consultado en la página del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). En primer lugar, se recopiló

una muestra de precios por metro cuadrado obtenidos en procesos encontrados en el Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP), mostrados en la Figura 13, que representan valores observados de mercado para obras de tipología “galpón/nave industrial”. Entre los contratos considerados figuraban precios reportados por provincia (por ejemplo, Esmeraldas, Carchi y Guayas). Estas referencias contractuales y su acceso público en SERCOP se emplearon como precios de origen para la traslación territorial.

Figura 13

Contratos de referencia para estimación de costo de construcción por m²

Descripción	Fechas	Resumen de Invitaciones	Productos	Parámetros de Calificación	Archivos
Descripción del Proceso de Contratación					
Entidad:	CORPORACION ELECTRICA DEL ECUADOR CELEC EP				
Objeto de Proceso:	CONSTRUCCIÓN DE UN GALPÓN PARA BODEGA DE REPUESTOS DE LA CENTRAL TERMICA ESMERALDAS II.				
Código:	COTO-CELTES-102-19				
Tipo Compra:	Obra				
Presupuesto Referencial Total (Sin Iva):	USD 377,571.96				
Tipo de Contratación:	Cotización -				
Forma de Pago:	Anticipo: 40% Saldo: 60.00%				
Tipo de Adjudicación:	Total				
Plazo de Entrega:	120 días				
Vigencia de Oferta:	90 días				
Funcionario encargado del proceso:	griselda.rendon@celec.gob.ec				
Estado del Proceso:	Finalizada				
Estado en el cual finalizó el Proceso	En Recepción				
Descripción:	CONSTRUCCIÓN DE UN GALPÓN PARA BODEGA DE REPUESTOS DE LA CENTRAL TERMICA ESMERALDAS II.				

Descripción	Fechas	Productos	Parámetros de Calificación	Respuesta de Aceptación	Archivos
Descripción del Proceso de Contratación					
Entidad:	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI				
Objeto de Proceso:	CONSTRUCCIÓN DEL GALPÓN INDUSTRIAL PARA LA PLANTA DE ALMIDON -PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI.				
Código:	MCO-UPEC-001-2022				
Tipo Compra:	Obra				
Presupuesto Referencial Total (Sin Iva):	USD 96,342.43				
Tipo de Contratación:	Menor Cuantía -				
Forma de Pago:	Anticipo: 50% Saldo: 50.00%				
Tipo de Adjudicación:	Total				
Plazo de Entrega:	135 días				
Vigencia de Oferta:	90 días				
Funcionario encargado del proceso:	carla.montenegro@upec.edu.ec				
Estado del Proceso:	Ejecución de Contrato				
Descripción:	CONSTRUCCIÓN DEL GALPÓN INDUSTRIAL PARA LA PLANTA DE ALMIDON -PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI.				

Descripción	Fechas	Resumen de Invitaciones	Productos	Parámetros de Calificación	Archivos
Descripción del Proceso de Contratación					
Entidad:	CORPORACION ELECTRICA DEL ECUADOR CELEC EP.				
Objeto de Proceso:	EGU CONSTRUCCION DE UN GALPÓN PARA BODEGA DE REPUESTOS DE CENTRAL ENRIQUE GARCIA DE LA UNIDAD DE NECOCIOS ELECTROGUAYAS PRD				
Código:	COTO-CELEGU-270-2022				
Tipo Compra:	Obra				
Presupuesto Referencial Total (Sin Iva):	USD 810,883.23				
Tipo de Contratación:	Cotización -				
Forma de Pago:	Anticipo: 40% Saldo: 60.00%				
Tipo de Adjudicación:	Total				
Plazo de Entrega:	240 días				
Vigencia de Oferta:	90 días				
Funcionario encargado del proceso:	carlos.franco@celec.gob.ec				
Estado del Proceso:	Adjudicado - Registro de Contratos				
Descripción:	EGU CONSTRUCCION DE UN GALPÓN PARA BODEGA DE REPUESTOS DE CENTRAL ENRIQUE GARCIA DE LA UNIDAD DE NECOCIOS ELECTROGUAYAS PRD				

Nota. Fuente: Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP).

En segundo lugar, y para ajustar los precios de contratos a las ciudades objetivo (Quevedo, provincia de Los Ríos; Machala, provincia de El Oro), se construyó un índice ponderado de insumos representativos de la obra de galpón. El índice ponderado incluyó los subíndices IPCO más relevantes para una nave: acero estructural, materiales pétreos (áridos), tubos/hormigón y ladrillo, con pesos asignados según la participación típica en el costo estructural de una nave (acero 35 %, tubos/hormigón 30 %, materiales pétreos 25 % y ladrillo 10 %). Los valores numéricos de los subíndices provinieron del Boletín IPCO INEC de junio de 2025. Con los subíndices y los pesos se calculó un índice compuesto por provincia, de modo que el precio se traslada en proporción a las diferencias en costos relativos de insumos entre la provincia de origen y la provincia objetivo. Esta etapa garantiza que las diferencias en accesibilidad de materiales y presiones de precio regionales queden parcialmente incorporadas al estimado.

Tras calcular los precios trasladados desde cada contrato origen hacia Los Ríos y El Oro, se construyó una estimación por metro cuadrado para cada ciudad. Para fines prácticos y conservadores se adoptó la mediana como valor de referencia central y se definió un rango conservador aplicando una tolerancia de ± 15 % alrededor de esa mediana para cubrir variaciones de especificación (acabados, andenes, oficinas, nivel de automatización), ajustado a cada ciudad, como se observa en la Tabla 12. Las medianas calculadas resultaron cercanas a los límites superiores del rango conservador, se fijaron en USD 470 por m² para Quevedo y USD 460 por m² para Machala. Las decisiones metodológicas y la elección del porcentaje de tolerancia se justifican por la heterogeneidad observada en los contratos de origen y por prácticas habituales en etapas de preinversión para incluir contingencias técnicas y de mercado.

Tabla 12*Ajuste de precio por m² en ciudades escogidas*

Origen (SERCOP)	Precio origen (USD/m ²)	Ajustado a Quevedo (Los Ríos) USD/m ²	Ajustado a Machala (El Oro) USD/m ²
Esmeraldas	\$362,00	\$394,90	\$387,33
Carchi	\$482,00	\$409,72	\$401,86
Guayas	\$744,00	\$740,49	\$726,29

Finalmente, el costo total de instalación se obtuvo multiplicando el precio unitario resultante por el área cubierta propuesta para cada centro. Los resultados cuantitativos: USD 470.000 de construcción (1.000 m²) para Quevedo más USD 135.000 de compra de terreno, lo que resulta en USD 605.000; y USD 276.000 de construcción para Machala (600 m²), más USD 90.000 de adquisición de terreno, con un total de USD 366.000.

3.2 Dirección de los centros de distribución

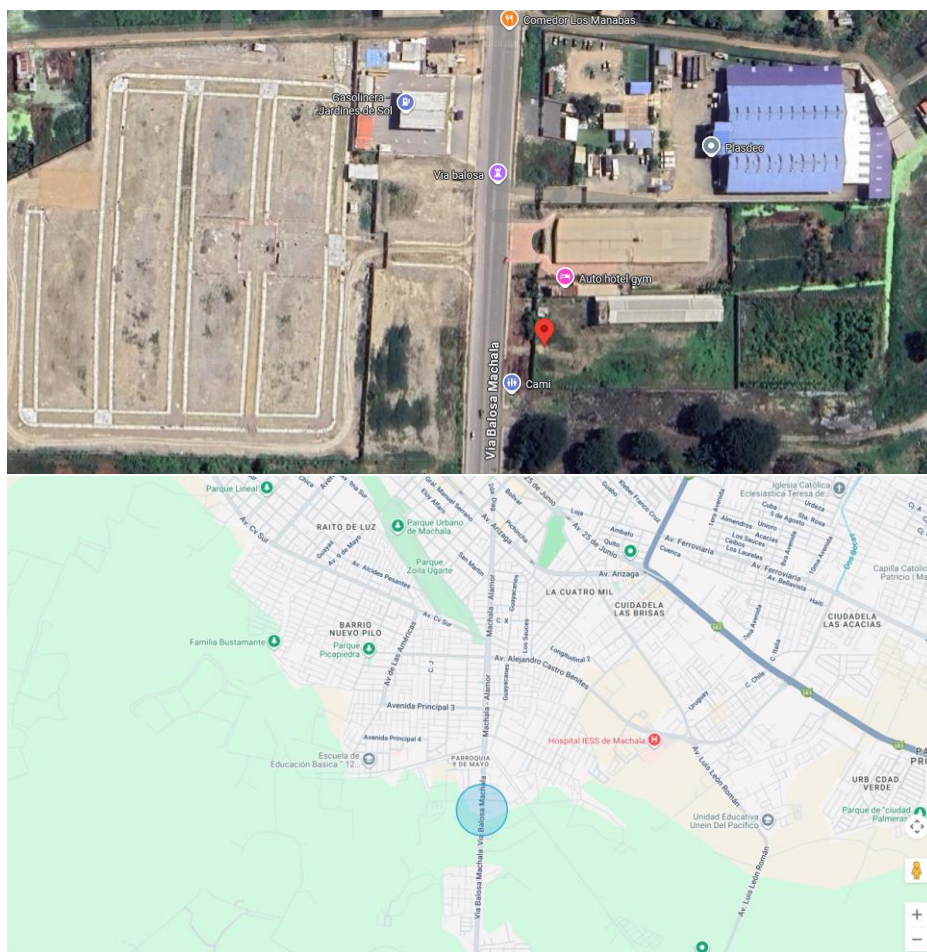
Con el objetivo de establecer una referencia geográfica precisa para la posible ubicación de los nuevos centros de distribución en las ciudades seleccionadas, se realizó una búsqueda exploratoria de terrenos a través del portal inmobiliario Plusvalía. Entre los criterios priorizados para la selección de predios se consideraron las dimensiones mínimas requeridas para el desarrollo de infraestructura logística, la accesibilidad a vías principales que permitan el ingreso y salida de vehículos de carga, y la disponibilidad de uso de suelo compatible con actividades industriales o comerciales. Cabe señalar que una de las principales limitantes en este ejercicio exploratorio es la disponibilidad efectiva de terrenos en venta que cumplan simultáneamente con todos los requisitos técnicos y normativos mencionados.

En el caso de Machala, el centro de distribución estaría ubicado en la parroquia 9 de mayo, en las cercanías de la vía Balosa, aproximadamente en las coordenadas geográficas: latitud -3.287186, longitud -79.957429. La elección de este sector responde a su proximidad

con las principales vías de ingreso y salida de la ciudad, lo que facilita la conexión con la red regional de transporte. En la Figura 16 se presenta un mapa detallado que muestra la ubicación referencial propuesta, destacando su accesibilidad vial y las condiciones del entorno inmediato.

Figura 14

Ubicación propuesta (terreno) para CD en Machala



Por su parte, para el centro de distribución de Quevedo se ubicaría en el sector Puente Sur, en la intersección con la Avenida José de Sucre, en las inmediaciones de las coordenadas: latitud -1.040508, longitud -79.466710. Este emplazamiento es considerado estratégico por su cercanía con la red vial que conecta a Quevedo con otras provincias del país, así como por la disponibilidad de terrenos con dimensiones adecuadas para el desarrollo

del proyecto logístico. La Figura 15 ilustra la ubicación propuesta, donde se puede observar la proximidad del terreno a las principales arterias urbanas y regionales.

Figura 15

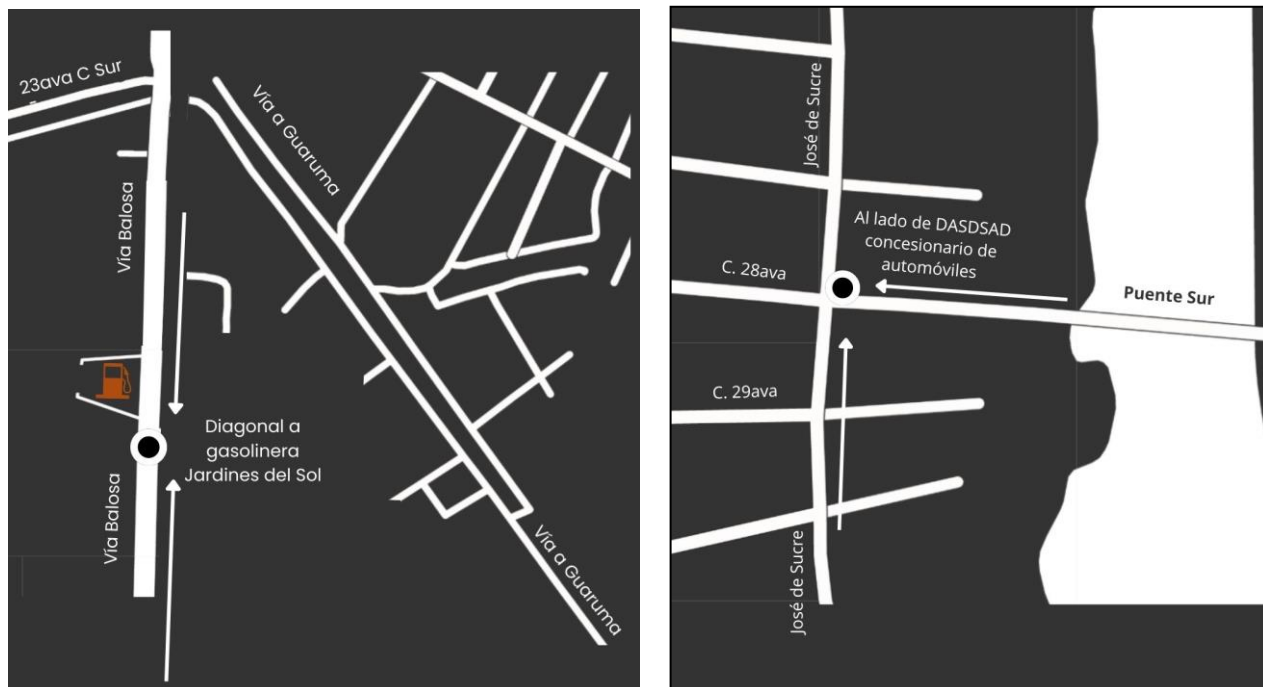
Ubicación propuesta (terreno) para CD en Quevedo



Así también, se incluyó una representación de las vías de acceso a los centros de distribución en las ciudades escogidas, como se muestra en la Figura 16.

Figura 16

Vías de acceso para las ubicaciones propuestas de los centros de distribución



Nota. CD en Machala, izquierda; CD en Quevedo, derecha.

Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

3.3 Conclusiones

Tras aplicar las fases correspondientes de la propuesta metodológica y desarrollar el modelo de rediseño de la red de distribución, se obtienen las siguientes conclusiones primordiales:

1. Con la solución propuesta se logró reducir el tiempo promedio de entrega de 11 horas a 7 horas, con un 100% de cumplimiento del SLA en la muestra analizada.
2. El análisis comparativo de los centros actuales y potenciales permitió identificar a Quevedo y Machala como ubicaciones estratégicas, optimizando la accesibilidad, reduciendo los costos de transporte y mejorando los tiempos de traslado. La inclusión de la bodega de Portoviejo refuerza la cobertura en la zona centro-norte de la Costa, mientras que Guayaquil mantiene su papel como nodo principal de la red.
3. A través del QFD se evidenció que los factores más críticos para los clientes eran los tiempos de entrega y la confiabilidad del servicio. Estas necesidades se tradujeron en decisiones técnicas sobre ubicación de CDs, capacidad de almacenamiento y disponibilidad de flota, confirmando que la localización estratégica es determinante para cumplir con las expectativas de mercado.
4. La propuesta respetó la capacidad mínima de procesamiento de 110 pedidos diarios en el CD de Guayaquil, evitando sobrecargas. Asimismo, el rediseño sienta bases para una red más sostenible y resiliente, al descentralizar operaciones y diversificar los nodos logísticos, lo cual aporta flexibilidad frente a cambios en la demanda o restricciones viales.

3.4 Recomendaciones

Una vez culminada la implementación y validación del modelo propuesto, se plantean las siguientes recomendaciones para fortalecer la investigación y abrir nuevas líneas de trabajo en el futuro:

1. Incluir con mayor detalle los costos asociados a inventarios y manipulación en bodega permitiría obtener una visión más precisa del impacto financiero en la red, ya que en esta investigación se priorizó la relación entre transporte, tiempos de tránsito y costos fijos.

2. El modelo podría ser replicado considerando proyecciones de aumento en el volumen de pedidos, con el fin de validar la robustez de la red y su capacidad de adaptación a condiciones dinámicas del mercado.

3. Dado que el modelo actual y los resultados obtenidos no incluyen a las localidades más alejadas de la Amazonía ecuatoriana, se sugiere tratarlas de forma diferenciada en la estrategia de distribución. Estas zonas representan aproximadamente 15 de los 1200 clientes totales y no generan un volumen significativo de facturación, lo cual limita el impacto de incorporarlas en el rediseño principal de la red. Sin embargo, para garantizar un nivel de servicio adecuado y mantener la coherencia con el objetivo de entregas menores a 8 horas en el resto de la red (clientes en Nueva Loja), se recomienda evaluar esquemas alternativos como alianzas con operadores logísticos locales, consolidación de pedidos en rutas específicas de baja frecuencia, o incluso establecer convenios de entrega bajo condiciones especiales acordadas con los clientes.

Referencias

- Arévalo, R., De Meyer, A., Gevaers, R., Guisson, R., Verbelen, G., & Dewulf, W. (1 de Abril de 2025). Collaborative distribution network design for sustainable parcel deliveries: A strategic modelling approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 141. doi:10.1016/j.trd.2025.104667
- Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro* (Quinta ed.). (E. Q. Duarte, Ed.) México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Björklund, M., & Piecyk-Ouellet, M. (2021). Sustainable Logistics, CSR in Logistics, and Sustainable Supply Chain Management. En *International Encyclopedia of Transportation: Volume 1-7* (Vol. 3, págs. 64-70). Londres: Elsevier Ltd. doi:10.1016/B978-0-08-102671-7.10221-0
- Coyle, J. J., Langley, C. J., Novack, R. A., & Gibson, B. J. (2018). *Administración de la cadena de suministro: una perspectiva logística* (Décima ed.). México, D.F.: Cengage Learning Editores, S.A.
- De Oliveira, L., Pereira, G., Magalhães, R., Dos Santos, L., & Souza, C. (1 de Agosto de 2022). An investigation of contributing factors for warehouse location and the relationship between local attributes and explanatory variables of Warehouse Freight Trip Generation Model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 162, 206-219. doi:10.1016/j.tra.2022.05.025
- Deng, W., Liang, S., & Hong, Y. (1 de Octubre de 2023). Distributed robust optimization with coupled constraints via Tseng's splitting method. *Automatica*, 156. doi:10.1016/j.automatica.2023.111177
- Fabry, Q., Agnetis, A., Berghman, L., & Briand, C. (1 de Enero de 2022). Complexity of flow time minimization in a crossdock truck scheduling problem with asymmetric

handover relations. *Operations Research Letters*, 50, 50-56.

doi:10.1016/j.orl.2021.12.004

Huang, S., Wu, Y., Cao, Z., & Zhang, X. (1 de Noviembre de 2025). A deep reinforcement learning method for solving Two-Echelon Location-Routing Problem. *Computers and Operations Research*, 183. doi:10.1016/j.cor.2025.107210

Jiang, S., Liu, Q., Wu, L., Zhang, Y., Deveci, M., & Chen, Z. S. (1 de Noviembre de 2024). A distributionally robust optimization approach for the potassium fertilizer product transportation considering transshipment through crossdocks. *Computers and Operations Research*, 171. doi:10.1016/j.cor.2024.106788

Jiang, Y., Bian, B., Zheng, B., & Chu, J. (1 de Abril de 2024). A time space network optimization model for integrated fresh fruit harvest and distribution considering maturity. *Computers and Industrial Engineering*, 190. doi:10.1016/j.cie.2024.110029

Kain, R., & Verma, A. (2018). Logistics Management in Supply Chain-An Overview. *Materials Today: Proceedings*, 5, 3811–3816.

Marianov, V., Serra, D., & ReVelle, C. (1999). Location of hubs in a competitive environment. *European Journal of Operational Research*, 114, 363-371.

Marmolejo, J. A., Niembro, J., & Alva, L. F. (2019). Structural dynamics of logistic networks: A sustainable approach. *IFAC (International Federation of Automatic Control)* (págs. 2704-2709). Elsevier B.V. doi:10.1016/j.ifacol.2019.11.616

Mogale, D., Ghadge, A., & Jena, S. (1 de Septiembre de 2025). Modelling and optimising a multi-depot vehicle routing problem for freight distribution in a retail logistics network. *Computers and Industrial Engineering*, 207. doi:10.1016/j.cie.2025.111315

Monsavi, S. M., & Vahdani, B. (2016). Cross-docking Location Selection in Distribution Systems: A New Intuitionistic Fuzzy Hierarchical Decision Model. *International*

Journal of Computational Intelligence Systems, 9(1), 91-109.

doi:10.1080/18756891.2016.1144156

Potoczki, T., Holzapfel, A., Kuhn, H., & Sternbeck, M. (1 de Octubre de 2024). Integrated cross-dock location and supply mode planning in retail networks. *International*

Journal of Production Economics, 276. doi:10.1016/j.ijpe.2024.109349

Qu, P. (2024). Design of Supply Chain Logistics Intelligent Management Information System Based on GIS Optimization Model. *Procedia Computer Science* (págs. 396-405).

Elsevier B.V. doi:10.1016/j.procs.2024.09.049

Rardin L., R. (2017). *Optimization in Operations Research* (Segunda ed.). Hoboken, NJ: Pearson Higher Education, Inc.

Şahin, G., & Süral, H. (8 de 2007). A review of hierarchical facility location models.

Computers and Operations Research, 34, 2310-2331. doi:10.1016/j.cor.2005.09.005

Sebatjane, M., Nobil, A. H., & Nobil, E. (1 de Junio de 2025). Cross-docking in retail:

Sustainable EOQ-based models for multi-item inventory systems with imperfect quality and stockouts under carbon cap-and-trade. *Cleaner Logistics and Supply*

Chain, 15. doi:10.1016/j.clscn.2025.100221

Serrano, C., Delorme, X., & Dolgui, A. (1 de Mayo de 2021). Cross-dock distribution and operation planning for overseas delivery consolidation: A case study in the

automotive industry. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 33, 71-81. doi:10.1016/j.cirpj.2021.02.007

Taheri, F., & Taft, A. F. (1 de Febrero de 2024). Reliable scheduling and routing in robust multiple cross-docking networks design. *Engineering Applications of Artificial*

Intelligence, 128. doi:10.1016/j.engappai.2023.107466

WareSpace. (30 de Mayo de 2024). *Warehouse Features and Amenities*. Obtenido de What Are Cross-Docking Warehouse Design Best Practices?:

<https://warespace.com/articles/warehouse-features-and-amenities/what-are-cross-docking-warehouse-design-best-practices>

Zarejeddi, M., Izadi, A., Titidezh, O., & Razavi, H. (1 de Junio de 2025). Design of a multi-objective supply chain and distribution network using robust optimization with interval data mathematical programming and live traffic data. *Sustainable Futures*. doi:10.1016/j.sftr.2025.100753

Apéndices

Apéndice A: Resultados obtenidos del modelo en GAMS

---- VAR open 1 if DC k is opened

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
QVD	.	1.0000	1.0000	12804.0000
SDO	.	.	1.0000	6953.8509
MCH	.	1.0000	1.0000	12384.0000

---- VAR x Flow supplier→DC (kg)

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
GVE.QVD	.	147073.0000	+INF	.
GVE.SDO	.	.	+INF	0.0300
GVE.MCH	.	97357.0000	+INF	.

---- VAR ykj Flow DC→City (kg)

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
QVD.QVD	.	99070.0000	+INF	.
QVD.SDO	.	20000.0000	+INF	.
QVD.MCH	.	.	+INF	0.0598
QVD.CUE	.	.	+INF	0.0312
QVD.RIO	.	3.0000	+INF	.
QVD.TRN	.	.	+INF	0.0144
QVD.PAS	.	.	+INF	0.0675
QVD.SAN	.	20000.0000	+INF	.
QVD.PIN	.	.	+INF	0.0742
QVD.PTL	.	.	+INF	0.1244
SDO.QVD	.	.	+INF	0.0276
SDO.SDO	.	.	+INF	0.0036
SDO.MCH	.	.	+INF	0.1003
SDO.CUE	.	.	.	0.0709
SDO.RIO	.	.	+INF	0.0246
SDO.TRN	.	.	+INF	0.0489
SDO.PAS	.	.	+INF	0.0986
SDO.SAN	.	.	+INF	.
SDO.PIN	.	.	.	0.1139
SDO.PTL	.	.	+INF	0.1415
MCH.QVD	.	.	+INF	0.0598
MCH.SDO	.	.	+INF	0.0727
MCH.MCH	.	75403.0000	+INF	.
MCH.CUE	.	400.0000	+INF	.
MCH.RIO	.	.	+INF	0.0203
MCH.TRN	.	8000.0000	+INF	.
MCH.PAS	.	8474.0000	+INF	.
MCH.SAN	.	.	.	0.0735
MCH.PIN	.	5000.0000	+INF	.
MCH.PTL	.	.	+INF	0.1406

----	239	VARIABLE z.L	=	41321.855	Total cost (USD/month)
----	240	PARAMETER cost_prim	=	7332.900	Cost transport primary (USD)
		PARAMETER cost_sec	=	8312.095	Cost transport secondary (USD)
		PARAMETER cost_hand_tot	=	488.860	Total handling cost (USD)
----	242	PARAMETER timekg_prim	=	1156878.470	Weighted time (kg·h) primary
		PARAMETER timekg_sec	=	554139.650	Weighted time (kg·h) secondary
		PARAMETER timekg_total	=	1711018.120	Total kg·h
		PARAMETER avg_time_per_kg	=	7.000	Average time per kg (h/kg)

Apéndice B: Comprobación de cumplimiento de tiempos de entrega con clientes mapeados

Ciudad Cliente	CD	Código	Nombre Cliente	Ciudad Cliente	Límite Cliente	Límite Cliente	Kilómetros	Distancia real de	Tiempo	Cumple SLA
Portoviejo	-1.041	-80.4	[Redacted]	Santa Ana	-1.206	-80.37	35.2	25.026	0.4	Cumple
Portoviejo	-1.041	-80.4		Bahia de Caraquez	-0.591	-80.41	108.59	73.315	1.0	Cumple
Portoviejo	-1.041	-80.4		Bahia de Caraquez	-0.604	-80.42	100	70.079	1.0	Cumple
Portoviejo	-1.041	-80.4		Bahia de Caraquez	-0.626	-80.43	30	67.614	1.0	Cumple
Portoviejo	-1.041	-80.4		Chone	-0.695	-80.09	2	71.456	0.9	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		La Libertad	-2.229	-80.91	34.72	127.57	1.6	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		Santa Elena	-1.183	-80.75	10.3	165.882	2.5	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		La Libertad	-2.228	-80.91	25.4	127.554	1.6	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		La Libertad	-2.229	-80.91	186	127.382	1.6	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		Santa Elena	-2.327	-80.85	2	129.393	1.6	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		Eloy Alfaro	-2.159	-79.83	3.64	19.471	0.5	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		Babahoyo	-1.808	-79.54	4.65	78.576	1.5	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		Eloy Alfaro	-2.1	-79.93	6.36	14.183	0.3	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		Naranjal	-2.676	-79.62	1.67	99.01	1.5	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		Eloy Alfaro	-2.158	-79.82	4	19.88	0.5	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		Eloy Alfaro	-2.169	-79.8	4	24.07	0.5	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		Eloy Alfaro	-2.15	-79.83	5.15	19.476	0.5	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		Babahoyo	-1.18	-79.53	4	79.328	1.5	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		Eloy Alfaro	-2.144	-79.89	4	11.86	0.4	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		Guayaquil	-2.189	-79.91	2.57	4.475	0.1	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		Guayaquil	-2.192	-79.89	8	7.799	0.2	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		Eloy Alfaro	-2.18	-79.85	88.71	19.021	0.5	Cumple
Quevedo	-1.041	-79.3		Wilfrido Lora Moreira	-0.572	-79.37	1.8	60.443	1.0	Cumple
Quevedo	-1.041	-79.3		into Domingo de los Colorad	-0.266	-79.2	9	102.013	1.5	Cumple
Quevedo	-1.041	-79.3		into Domingo de los Colorad	-0.256	-79.17	32.95	107.086	1.6	Cumple
Quevedo	-1.041	-79.3		into Domingo de los Colorad	-0.255	-79.17	6.58	107.133	1.6	Cumple
Quevedo	-1.041	-79.3		into Domingo de los Colorad	-0.239	-79.22	9	97.442	1.4	Cumple
Quevedo	-1.041	-79.3		into Domingo de los Colorad	-0.263	-79.2	5.26	102.171	1.5	Cumple
Quevedo	-1.041	-79.3		into Domingo de los Colorad	-0.27	-79.2	1.89	101.455	1.5	Cumple
Machala	-3.286	-79.3		Balao	-3.062	-79.75	35.75	42.46	0.7	Cumple
Machala	-3.286	-79.3		Balao	-3.063	-79.74	3	43.117	0.8	Cumple
Machala	-3.286	-79.3		Pasaje	-3.24	-79.64	2.24	17.898	0.4	Cumple
Machala	-3.286	-79.3		Machala	-3.273	-79.93	1.72	5.196	0.1	Cumple
Machala	-3.286	-79.3		Santa Rosa	-3.448	-79.96	30.53	23.448	0.4	Cumple
Machala	-3.286	-79.3		Pasaje	-3.326	-79.81	3.4	20.591	0.4	Cumple
Machala	-3.286	-79.3		Machala	-3.256	-79.96	152.2	3.745	0.1	Cumple
Machala	-3.286	-79.3		Machala	-3.273	-79.93	62.2	5.254	0.1	Cumple
Machala	-3.286	-79.3		Machala	-3.266	-79.95	5.3	3.009	0.1	Cumple
Machala	-3.286	-79.3		Pasaje	-3.332	-79.8	63.75	23.132	0.4	Cumple
Machala	-3.286	-79.3		Huaquillas	-3.482	-80.21	800	65.873	0.9	Cumple
Portoviejo	-1.041	-80.4		Jipijapa	-1.353	-80.58	26.47	55.032	0.8	Cumple
Portoviejo	-1.041	-80.4		Manta	-0.981	-80.63	24.18	36.706	0.5	Cumple
Portoviejo	-1.041	-80.4		Manta	-0.961	-80.71	3.44	33.807	0.6	Cumple
Portoviejo	-1.041	-80.4		Rocafuerte	-0.925	-80.45	6.19	17.208	0.3	Cumple
Portoviejo	-1.041	-80.4		Manta	-0.947	-80.64	1.05	27.646	0.5	Cumple
Portoviejo	-1.041	-80.4		Rocafuerte	-0.922	-80.45	0.39	17.371	0.3	Cumple
Portoviejo	-1.041	-80.4		Rocafuerte	-0.839	-80.49	67	27.467	0.5	Cumple
Portoviejo	-1.041	-80.4		Rocafuerte	-0.927	-80.45	0.45	17.564	0.3	Cumple
Portoviejo	-1.041	-80.4		Rocafuerte	-0.918	-80.45	4.86	16.945	0.3	Cumple
Portoviejo	-1.041	-80.4		Manta	-0.961	-80.64	3.9	26.071	0.5	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		La Libertad	-2.326	-80.89	300	132.743	1.7	Cumple
Guayaquil	-2.188	-79.3		La Libertad	-2.23	-80.92	5	132.161	1.6	Cumple

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Ciudad Cliente	CD	Código	Nombre Cliente	Ciudad Cliente	Límite Cliente	Límite Cliente	Kilómetros	Distancia real de	Tiempo	Cumple SLA
53	Guayaquil	-2.188	[Redacted]	La Libertad	-2.23	-80.92	5	132.161	1.6	Cumple
54	Guayaquil	-2.188		La Libertad	-2.231	-80.91	175	127.874	1.6	Cumple
55	Guayaquil	-2.188		Guayaquil	-2.141	-79.93	0.62	8.463	0.2	Cumple
56	Guayaquil	-2.188		Eloy Alfaro	-2.124	-79.91	12	12.36	0.3	Cumple
57	Guayaquil	-2.188		Eloy Alfaro	-2.179	-79.81	3.03	23.817	0.5	Cumple
58	Guayaquil	-2.188		Guayaquil	-2.195	-79.9	0.19	5.531	0.2	Cumple
59	Guayaquil	-2.188		Babahoyo	-1.798	-79.53	1	79.733	1.6	Cumple
60	Guayaquil	-2.188		Guayaquil	-2.201	-79.93	1.82	2.188	0.1	Cumple
61	Guayaquil	-2.188		La Troncal	-2.441	-79.33	1000	87.645	1.5	Cumple
62	Quevedo	-1.041		La Mana	-0.941	-79.23	9.64	34.207	0.6	Cumple
63	Quevedo	-1.041		La Mana	-0.952	-79.35	8	20.527	0.4	Cumple
64	Quevedo	-1.041		La Mana	-0.942	-79.22	29.6	35.528	0.6	Cumple
65	Quevedo	-1.041		La Mana	-0.941	-79.23	0.14	35.199	0.6	Cumple
66	Quevedo	-1.041		La Mana	-0.942	-79.23	5	35.139	0.6	Cumple
67	Quevedo	-1.041		La Mana	-0.941	-79.23	0.83	34.769	0.6	Cumple
68	Quevedo	-1.041		La Mana	-1.108	-79.27	0.25	30.283	0.6	Cumple
69	Quevedo	-1.041		La Mana	-1.234	-79.24	0.71	56.768	1.1	Cumple
70	Quevedo	-1.041		Quevedo	-1.057	-79.49	1.49	3.732	0.1	Cumple
71	Quevedo	-1.041		Quevedo	-1.022	-79.46	6.35	2.812	0.1	Cumple
72	Quevedo	-1.041		Quevedo	-1.026	-79.47	20	2.085	0.0	Cumple
73	Guayaquil	-2.188		Guayaquil	-2.194	-79.91	35.5	4.292	0.1	Cumple
74	Guayaquil	-2.188		Eloy Alfaro	-2.169	-79.8	6.11	24.022	0.5	Cumple
75	Guayaquil	-2.188		Babahoyo	-1.797	-79.53	1.68	79.927	1.6	Cumple
76	Guayaquil	-2.188		Naranjal	-2.674	-79.62	0.17	98.825	1.5	Cumple
77	Guayaquil	-2.188		Eloy Alfaro	-2.174	-79.83	0.27	20.163	0.5	Cumple
78	Guayaquil	-2.188		Eloy Alfaro	-2.121	-79.91	0.42	11.832	0.3	Cumple
79	Guayaquil	-2.188		Eloy Alfaro	-2.068	-79.92	13.79	18.484	0.3	Cumple
80	Guayaquil	-2.188		Eloy Alfaro	-2.09	-79.89	136.08	23.19	0.4	Cumple
81	Guayaquil	-2.188		Santa Lucia	-2.078	-80.01	6.29	23.338	0.5	Cumple
82	Guayaquil	-2.188		Eloy Alfaro	-2.138	-79.9	36.3	11.271	0.3	Cumple
83	Guayaquil	-2.188		Eloy Alfaro	-2.185	-79.85	0.9	19.496	0.5	Cumple
84	Guayaquil	-2.188		Babahoyo	-1.805	-79.54	2.07	78.943	1.5	Cumple
85	Guayaquil	-2.188		El Triunfo	-2.054	-79.93	8.94	21.614	0.4	Cumple
86	Guayaquil	-2.188		Eloy Alfaro	-2.156	-79.84	125.6	16.095	0.4	Cumple
87	Guayaquil	-2.188		Eloy Alfaro	-2.185	-79.85	75.28	19.69	0.5	Cumple
88	Machala	-3.286		Santa Rosa	-3.45	-79.96	51	23.817	0.4	Cumple
89	Machala	-3.286		Balao	-3.062	-79.75	35.75	42.46	0.7	Cumple
90	Machala	-3.286		Machala	-3.261	-79.96	30.75	3.19	0.1	Cumple
91	Machala	-3.286		Balao	-3.061	-79.75	29.54	42.924	0.8	Cumple
92	Machala	-3.286		Machala	-3.258	-79.95	4.1	4.444	0.1	Cumple
93	Machala	-3.286		Pinaz	-3.784	-79.91	3.63	86.785	1.2	Cumple
94	Machala	-3.286		Machala	-3.255	-79.96	1	3.931	0.1	Cumple
95	Guayaquil	-2.188		Santa Elena	-2.223	-80.86	13.72	122.093	1.5	Cumple
96	Guayaquil	-2.188		La Libertad	-2.229	-80.91	90.4	127.451	1.6	Cumple
97	Guayaquil	-2.188		La Libertad	-2.228	-80.91	2.23	128.206	1.6	Cumple
98	Guayaquil	-2.188		La Libertad	-2.229	-80.91	102	127.398	1.6	Cumple
99	Guayaquil	-2.188		La Libertad	-2.314	-80.89	1.2	132.046	1.7	Cumple
100	Guayaquil	-2.188		La Libertad	-2.228	-80.91	2.15	127.624	1.6	Cumple
101	Guayaquil	-2.188		Santa Elena	-2.143	-80.77	30	125.3	1.6	Cumple
102	Guayaquil	-2.188		Santa Elena	-2.4	-80.68	500	106.071	1.6	Cumple
103	Guayaquil	-2.188		Santa Elena	-2.23	-80.86	0.6	122.448	1.5	Cumple
104	Guayaquil	-2.188		La Libertad	-2.224	-80.91	6.35	128.06	1.6	Cumple